

院士科普书系
农家书屋精选本

国家重点图书

修订版

生态农业

——21世纪的阳光产业

金鉴明 卞有生 田兴敏 编著



清华大学出版社
暨南大学出版社

院士科普书系——农家书屋精选本

生态农业

——21世纪的阳光产业(修订版)

金鉴明　卞有生　田兴敏　编著

清 华 大 学 出 版 社
北京

内容简介

当今农业面临环境污染、土壤恶化、生物多样性减少等问题。生态农业，将使田园重现山青水秀稻花香、桃花流水鳜鱼肥。生态农业是少用化肥、农药或不用化肥、农药的绿色安全的农业，是实现经济、社会和生态三大效益统一的最佳模式，也是现代农业发展的方向。本书除了继续讲解生态农业的普及知识，而且在修订时，增加了作者几年来亲自调研得到的农业发展新模式的内容，适合广大农村读者阅读。

图书在版编目（CIP）数据

生态农业：21世纪的阳光产业/金鉴明，卞有生，田兴敏编著. --修订版. --北京：清华大学出版社，2011.8

（院士科普书系/路甬祥主编. 农家书屋精选本）

ISBN 978-7-302-26408-8

Ⅰ.①生…　Ⅱ.①金…②卞…③田…　Ⅲ.①生态农业－普及读物

Ⅳ.①S181-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第148669号

责任编辑：宋成斌
责任校对：王淑云
责任印制：王秀菊

出版发行：清华大学出版社　　**地　址：**北京清华大学学研大厦A座
http://www.tup.com.cn　　**邮　编：**100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　购：**010-62786544
暨南大学出版社　　**地　址：**广州天河
http://www.jnu.edul.cn　　**邮　编：**510630
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：北京市清华园胶印厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：140×203　**印　张：**7.875　**彩插：**2　**字　数：**201千字
版　　次：2011年8月第1版　**印　次：**2011年8月第1次印刷
印　　数：1～3000
定　　价：19.00元

产品编号：034625-01

《院士科普书系》编委会（第一届）

《院士科普书系》编委会（第二届）

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有六千余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

十五世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达十四个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题，但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政治上层建筑，为解放和发展生产力开辟道路。于是，就有了八十多年前孙中山先生领导的辛亥革命，就有了五十年前我们党领导的新民主主义革命的胜利，以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革，都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的科学技术是第一生产力的著名论断,使我们对科学技术在经济社会发展中的地位和作用的认识有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用五十年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

江泽民

1999 年 12 月 23 日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是20世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来，生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力；而“科学技术是第一生产力”，因此，科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看，人类走过了农业经济时代、工业经济时代，正在进入知识经济时代。

知识经济时代，知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本，不仅仅是一种物质的形态，知识同时还是一种精神的形态。知识，首先是科学技术知识，将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域，同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说，在新的历史时期，一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的大事。

对于我们科技工作者来说，我们的工作应当包含两个方面：发展科技与普及科技；或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作，不仅是普及科学知识，更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的“十五大”更是

把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下，1998年春由科学时报社（当时叫“中国科学报社”）提出创意，暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划，会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部，共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月，中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子，《院士科普书系》编委会正式成立，各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”，在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”，得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里，有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议，开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映，写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。这一庞大的工程，不但需要院士们积极投入，还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议，帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量，使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面，我们也要以此为起点为开端，参与国际竞争与合作，勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长

《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

前　　言

21 世纪是人类经济和科学技术日新月异和更加迅猛发展的世纪，工业的全球扩散、市场经济的全球推进、科学技术的全球合作、信息化的全球影响势不可挡。但同时环境问题的全球化、生态危机的普遍化、自然资源争夺的白热化，人地矛盾的尖锐化，亦将更为突出。为了协调人口、资源、环境与发展的关系，化解危机，把握住人类未来发展的正确方向，实施可持续发展战略，成为 21 世纪人类发展的必然选择。我国是农业大国，以农业科技革命为动力，建立与农业大国地位相适应的，适应社会主义市场经济的农业科技创新体系，维护人民食物安全和农村经济安全、农村国土安全，从而实施可持续发展农业是实现农业现代化的必由之路。

近 20 年来，在遇到来自“石油农业”的各种困扰之后，世界各国都在探索持续发展农业的新途径。在发达国家寻找的替代农业模式(例如有机农业、生物农业、精确农业、狭义的生态农业等)中，生态农业已成为当今世界农业发展的趋势。但另一趋势是，近 10 年来，欧美一些发达国家在大量投入和高科技组合下，为缓解高投入、高产出的集约农业所引起的环境问题与降低生产成本，纷纷借助于信息技术的发展，开展精确农业的研究及实践。精确农业作为一种以信息为基础的农业微观管理系统控制下的农业生产，通过 GPS 和计算机控制技术准确计算出某一地块实际所需投入，可以减少不必要的投入与资源浪费，提高投入产出转换效率，避免由于过量施用化学产品而带来的污染风险，因此它是一种属于超前性的高新技术农业，是世界农业现代化发展的新趋势。在我国，长期以来，农业一直是投入产出效率较低的产业。为了迎接世界性农业科技革命的挑战，把信息

技术,生物技术与生态工程建设有机结合起来,培育农业高新技术产业和产业集团,它将成为未来农业的一个发展趋势。在现阶段,应结合我国国情,把为实现优质、低耗的可持续发展的农业作为农业科技的发展方向,努力促进农业走技术集约的道路。近年来在部署生态农业和农村生态建设与可持续发展的试点中,把质量问题、效益问题、农民增收和环境保护问题始终作为近期农业研究的重点,加以实验和总结,所取得的成功经验和模式,已受到党中央和国务院的高度重视。

1997 年,江泽民总书记等党和国家领导人作出大抓植树造林,治理水土流失,建设生态农业的重要指示,并发出再造秀美山川的号召。此后,国务院在陕北召开了全国治理水土流失,建设生态农业现场经验交流会,进一步提高了对要治理水土流失、大力发展生态农业的认识。1999 年朱镕基总理在中美环境与发展讨论会上也再次强调,我国要在传统农业的基础上,大力发展生态农业。农业部联合国家计委、财政部、国家环保总局等七个部委,在全国组织开展了 51 个国家级生态农业试点县建设,各省区市也积极开展了 100 多个省级试点县建设。目前,生态农业已遍布全国 30 个省、区市。开展生态农业建设的县、乡、村已达到 2000 多个。实践证明,通过生态农业建设有力地推进了农业生产结构优化和资源综合利用,提高了农产品的质量,加快了农业和农村经济的发展,改善和保护了生态环境。

生态农业发展虽呈良好势态,但从全国来说,农业生态环境作为面源污染的恶化趋势还没有得到遏制,甚至有些地区还十分严重;农业内部的生产链尚需协调,以使其纳入良性循环;各地生态农业的发展也不平衡,农副产品的质量有待提高。尤为重要的是,为了加深人们对生态原理的认识和应用,以及推动建立在科学理论基础上的生态农业的实践,有必要进一步探讨在市场经济的形势下生态农业设计的生态化,以及生态农业建设的产业化、规模的集约化、经营的企业化、产品的市场化、服务的一体化。为了给读者提供有关 21 世纪

的阳光产业——生态农业的某些背景知识并因此而有所启迪,我们编写了这本小册子。相信本书的出版,对于因地制宜地选择推广利于生态农业良性循环的各类生态工程模式,加大生态农业建设力度,开拓新的经济增长点,改善和保护农村生态环境,实现农业的可持续发展,将起到借鉴和促进作用。

本书是作者在总结多年的生态农业实践经验的基础上经过广泛调查深入研究而编写成的。书中包括了国内外生态农业的发展历程、基本原理、技术类型、建设特点、典型实例等基础知识和应该引起各有关方面关注的内容。本书第二作者卞有生同志1961年毕业于上海复旦大学,现为北京市环境保护科学研究院副总工程师、国家城市环境污染控制工程技术研究中心生态部主任,研究员,国家有突出贡献的中青年专家。

卞有生撰写本书第1～7章,第一作者金鉴明院士撰写本书前言、结束语,并且补写湖北洪湖蓝田公司生态农业新模式实例,以及参与全书的框架构思、补充和修改工作。

在本书编写和出版过程中,得到了有关部门,有关同仁的大力支持和积极协助,在此一并表示衷心的感谢。不足之处,敬请批评指正。

金鉴明

2001年8月

目　　录

1 生态农业的兴起及当前发展状况

1.1 从“保护每一头耕牛”说起——生态农业的兴起及其意义

20世纪70年代初，美国的一些科学家，提出了一个口号：“保护每一头耕牛！”这个口号一提出，立即在世界上引起普遍反响。有人认为，像美国这样一个经济上高度发达、农业上已实现了机械化、电气化、化学化和水利化的典型现代农业国家，提出这样的口号，意味着要向传统农业倒退；一部分人则认为，这个口号很有战略眼光，从中可重新看到美国农业的希望。但大多数人则对这一口号的提出不甚理解。

那么，美国为什么要提出这样的口号？它是在什么背景下提出的？其目的和意义又如何？要回答这些问题，还得从世界农业发展的历史及现状

说起。

农业生产的根本目的，是生产出足够的粮食及其他副产品，以满足人类不断增长的需要。这是一个关系到人类吃饭、穿衣的大问题。因此，农业理所当然地被世界各国所重视，因而成为经济生活中最活跃的一个领域。纵观1万年来农业发展的历史，从刀耕火种的原始农业发展到近代的传统农业，到现代的石油农业（又称能源农业），这种发展过程本身都是围绕着生产更多粮食进行的。农业发展历史上的任何一次变革，特别是被称为三次革命的技术进步——杂交玉米的成功、农药的使用、石油农业的兴起等，也都是为了生产更多的粮食。其中又以石油农业的兴起和发展影响最为深远。

石油农业，是指农业对能源的利用和消耗来讲的，其实质是用高能量来换取高产量。捷克曾对农业发展与能源的关系，做过一项为期10年的试验，结果表明，农产品每增加1％，农用能源的消耗就要增加2.5％。石油农业的一个基本思想，就是最大限度地向农业投入能量，以获取尽可能多的农业产量。例如，美国近40年来，投入农业的能源增长了近80倍，目前美国的农业，1年要消耗6000万吨以上的石油，800万吨钢材，16万吨橡胶。这种高能量的投入，刺激了农业的迅猛发展，取得了一定的积极结果，使农业劳动生产率、土地生产率和农产品的商品率大大提高。若以每个劳动力能养活的人数计，则美国为56人，加拿大为44人，澳大利亚为39人，法国为26人，日本为17人。

尽管如此，石油农业的发展，由于农业上高能量的投入而带来了一系列的严重后果。

① 以石油为原料的化肥、农药的大量使用，加之耕作、灌溉、加工、运输都需要石油，因而严重地加剧了能源危机。例如目前美国的玉米生产，每公顷需要消耗石油760升。每生产4.2千焦能量的水果和蔬菜，则需投入8.4千焦的石油能源。每生产4.2焦的动物蛋白需投入84～336焦的石油能源。因此，绝大多数国家都不可能按

照石油农业的方式去发展农业生产。

② 大量采用机械操作,加剧了自然生态的破坏。美国从20世纪30年代开始用机械化取代畜力耕种,中西部地区的农民无计划地将大量草原垦为农田,造成土地裸露,风蚀加剧,地貌、土壤严重恶化。大自然的惩罚也接踵而至。1934年5月11日,在伊利诺伊、马里兰、北卡罗来纳等州刮起了巨大的黑风暴。据测定,大气的含尘量达40吨/千米^2。事后调查表明,这场风暴从土地破坏的西部干旱地区刮起,狂风连刮3天,越过美国3/5的国土,毁掉耕地300万公顷。同年7月20日,在堪萨斯、得克萨斯等州,又一次刮起了巨大的黑风暴。这一年全国冬小麦减产51亿千克。

由于石油农业忽视了有机肥料及覆盖物的作用,造成了严重的风蚀和水蚀,破坏了大量的农田。40年来,美国有8000万公顷农田因土壤流失遭到不同程度的破坏。

③ 大量使用化肥和农药,不仅造成了能源的紧张,而且也造成了严重的环境污染。目前美国化肥的用量是1950年的10倍,在玉米生产中平均每公顷用氮肥(纯氮)128千克、磷肥(P_2O_5)72千克、钾肥(K_2O)80千克。农药的用量逐年增加,据估计,20世纪末,年用量达10亿千克。农药的大量使用,使害虫产生了抗药能力,目前美国已有364种害虫对60多种农药产生了抗药性。而在所使用的农药中,有90%进入了农田生态系统(化肥有70%进入农田生态系统),造成严重的污染。据美国环境保护局的统计,每年由于暴雨径流从陆地带入河流的沉积物约30亿吨,其中25%来自农业土壤。这些沉积中含有大量的氮、磷和钾,不仅造成了土壤肥力的下降,而且引起严重的水污染。这些问题的出现,使美国农业的进一步发展受到严重阻碍。

除美国外,其他一些石油农业国家,也不同程度地碰到了这些问题,迫使人们不得不去寻找新的农业发展道路。

在能源危机、物价上涨、环境污染、生态平衡破坏和失业人口增

加的压力下，资本主义国家的经济学家们已意识到要重新考虑今后农业发展的技术政策。1975 年《美国农业研究计划书》比较明显地反映了美国农业在环境和能源压力面前的新变化。该计划书指出："改造农业技术是世界大幅度提高粮食产量的惟一途径。重点应放在提高可更新资源的产品产量上，增加可更新资源对食物、饲料和工业的生产力，应成为国家的首要任务。农业研究上要求投入不可更新的资源最少，而获得的产量最多。"日本科学家也提出了要改变偏重于"无机农业"的做法，而转向"有机农业"的发展。德国学者明确提出"机械技术现代化"必须与"生物技术现代化"同时并进，并使之很好地结合。

在发展中国家，尽管农业的发展并未走石油农业的道路，但也在不同程度上受到石油农业的影响，单纯为了追求农业产量（其中又主要是粮食产量），而片面地向农业进行高能量的输入，盲目地推行机械化，大量使用化肥和农药，由此造成的问题也相当严重。资源的超量开采与不合理应用，生态平衡的破坏，生态状况的恶化，环境污染等均达到十分严重的程度，已成为农业发展的障碍。

我国是世界农业起源中心之一，有着长期的有机农业的基础。几千年来，我国各民族在艰苦卓绝地和大自然的长期斗争中，创造了光辉灿烂的古代农业科学技术，给人类留下了一笔宝贵的财富。但是，现代农业兴起以后，我们落后了。农业发展速度不快，劳动生产率不高，这和现代化建设对农业的要求差得很远。特别是由于长期以来我们对于生态环境、对于农业生态平衡问题认识不足，在一定程度上受到西方石油农业的影响，片面追求高能量的投入，没有正确处理好发展生产和保护生态环境，开发利用资源和保护增殖资源之间的关系，造成违背生态规律，片面追求农业产量，用单一的粮食生产结构去代替多层次和复杂结构的农业系统。在人口不断增长和耕地不断减少的情况下，往往采取盲目提高复种指数、毁林毁草开荒和围湖围海造田的方法，结果造成了生态平衡的破坏，环境状况日益恶

化,土地沙化,水土流失严重,自然灾害频繁,农村能源严重不足,土壤有机质及营养元素含量大幅度下降等。其结果不仅造成农业发展速度缓慢,而且给农业的进一步发展带来极大困难。

50多年来,我们在这个问题上的教训是极为深刻的。我国是农业国,80%的人口居住于农村,如何充分合理地利用自然资源,在保护环境的同时,发展农业生产,不但是当前农村经济发展的问题,也是我国农业现代化、实现农业可持续发展的大问题。因此,农业发展战略的研究,已成为我们这样一个人口众多的国家的一个亟待解决的重要问题。

由此可见,无论是发达国家或是发展中国家,都面临着这样一个问题,既如何充分合理地利用自然资源,持续、稳定地发展农业,同时又保护环境和农村生态平衡。实践证明,传统的有机农业解决不了这一问题,石油农业会使问题变得更加严重。那么,什么是农业发展的正确道路呢?正是在这种情况下,提出了生态农业的概念和原理。

所谓生态农业,就是以生态学理论为依据,在某一定的区域内,因地制宜地规划、组织和进行农业生产。也可以说,生态农业就是要按照生态学原理,建立和管理一个生态上自我维持的低输入、经济上可行的农业生产系统,该系统能在长时间内不对其周围环境造成明显改变的情况下具有最大的生产力。生态农业以保持和改善该系统内的生态动态平衡为总体规划的主导思想,合理地安排生产结构和产品布局,努力提高太阳能的固定率和利用率,促进物质在系统内部的循环利用和多次重复利用,以尽可能减少燃料、肥料、饲料和其他原材料输入,从而求得尽可能多的农、林、牧、副、渔产品及其加工制品的输出,获取生产发展、生态环境保护、能源的再生利用、经济效益四者统一的综合性效果。

可见,生态农业不仅可以避免石油农业所带来的弊病,而且可以有效地发展农业生产,充分、合理地利用自然资源,提高农业生产力,使农、林、牧、副、渔得到全面的发展。生态农业基地不仅是能量转化

效率较高的农业生产场所，而且能起到维护自然生态平衡、保护环境、净化污染、提高氧气库的作用，提高生物能的利用率和物质循环利用率，实现社会、经济的可持续发展。因此，生态农业的概念和原理得到世界上越来越多国家的重视。美国提出的“保护每一头耕牛”的口号正是当前这一发展趋势的形象说明。耕牛是传统农业的主要耕作动力，又是提供有机肥的重要生物体。传统农业时代的生态环境尚未受到化学物质的污染。我们提倡的生态农业也是要求保持良好的生态环境，尽可能降低化学肥料的使用。“保护每一头耕牛”的口号意味着，生态农业就是要像使用耕牛的传统农业那样具有良好的生态环境，尽可能使用有机肥。走生态农业之路，是当今世界农业发展的总趋势。普遍认为，世界农业的发展已进入了一个新的历史阶段，即生态农业阶段。

1.2　当前生态农业发展状况

国外生态农业发展状况

由于生态农业不仅可以充分合理地利用自然资源，有效地提高农业生产力，而且可以保护农业生态环境，促进良性循环的形成，避免石油农业的弊病。所以生态农业的概念和原理一经提出，立即得到广泛的重视和响应。一些发达国家纷纷开始了有关生态农业的理论研究和实践试验。到目前为止，西欧和美国大约有 1％的农民在从事生态农业的实践。在美国已有 2 万多个生态农场遍布全国各地，在实践中所采用的技术措施主要是：

① 应用现代农业机械，选用作物新品种，采用现代的良好牲畜饲养及管理方法、水土保持技术，以及先进的有机废物和作物秸秆的利用技术。

② 完全不用或极少使用化肥、化学农药、生长调节剂和饮料添

加剂等化学物质。

③ 采用豆科绿肥和覆盖作物为基础的轮作,通常豆科作物占总面积的30%~50%,轮作形式与20世纪30年代到50年代的轮作制相似。

④ 绝大多数生态农场不用壁形犁耕作,通常使用齿形或圆盘形装置浅耕,只是将土壤混合一下,但不把土壤翻转过来。

⑤ 采用梯田、带状或等高作业等方式保持土壤免受侵蚀。

⑥ 氮素营养主要来源于豆科固氮、牲畜粪便和作物秸秆,只是对特别需氮的作物有限度地施用一点化肥。

⑦ 农田杂草主要通过轮作、耕作和中耕除草来控制,极少用除草剂。

⑧ 病虫害主要通过轮作和生物防治,保护天敌控制。

显然,这些具体做法就其单独而言并没有什么独特之处,有些是目前常规农业也在广泛采用的,有些是过去传统农业中使用而现代农业已不再使用了的,但从特定的目的和指导思想出发将这些技术有机地配合起来,就形成了既不同于传统农业也不同于现代常规农业的生态农业。

在有关的理论研究方面,在美国比较著名的有宾夕法尼亚州的罗代尔研究中心,这个研究中心正式成立于1974年,但早在20世纪30年代,该中心的创始人J. I. Rodele即已开始了生态农业的实践和研究。此外,在美国还有新英格兰小农场研究所(New England Small Farm Institute)、马萨诸塞州的新炼金术研究所(New Alchemys Institute)、新罕布什尔州的农村教育中心(Rural Educations Center)、内布拉斯加州的小农场能量计划(Small Farm Energy Project)以及华盛顿州的耕作研究农场(Tilth Research Farm)。在美国许多州立大学中还有不同规模的有关生态农业或有机农业方面的研究计划或组织,其中比较有影响的是加利福尼亚大学设在圣克鲁兹岛上的第八分校,即环境和社会学院(College of

Environment and Society)，由 S. R. Gliseeman 教授所领导的农业生态计划，研究工作的重点包括各种不同类型的替代农业的营养循环、杂草和病虫害的生物控制，以及复种(multiple cropping)等。佐治亚大学生态研究所 Odum 教授也领导着一个农业生态研究计划。

英国是研究生态农业最早的国家之一，早在 1975 年就成立了国际生物农业研究所，专门研究生态农业和生物农业的问题。在理论研究和实践试验方面均取得不少成果，特别是在实践试验方面，建立了很多不同规模、不同类型的生态农场，并出版了一些专门的学术期刊和文集。

发达国家在生态农业的研究方面，开展了很多工作，但从内容看，不外乎是围绕着农田营养问题和病虫及杂草控制这两大方面，因为这两方面是生态农业成功与否的关键所在。如前所述，现代常规农业是依靠化肥和农药来解决这两个问题，而常规农业所出现的许多弊病是与使用大量化肥和化学农药相联系的。生态农业自然要求不用或尽可能少用这些化学物质，但又要求能维持一个相当高的产量，因而必须将这两个问题放在首位来加以研究，以找出解决办法。为此，科学家们特别将注意力放在对轮作和间、复、套种以及耕作技术的研究上。这些技术是传统农业普遍采用的技术，具有解决农田的营养以及控制杂草和病虫害的综合效果。尽管多年来对这些技术已作过很多研究，但从建立现代的生态农业系统出发，结合生态学的一些基本原理的研究则显得很不够，因此就不可能从生态学角度对这些技术作出全面的估价。对过去长期以来各地区的传统农业中行之有效的这一类技术进行重新研究和重新认识，并以此为基础进一步探讨新措施。这项工作已越来越受到科学家的重视。显然，在这些研究当中，现代生态学的基本概念和原理(如种群数量统计分析、等级结构、生态位、生物地理学原理、种群竞争、互惠共生、他感作用、优势、多样性、稳定性、生产力、物质循环和能量流动等)将是整个研究工作的基础。

几乎与此同时,发展中国家也开始了生态农业的理论研究和实践试验。其中特别是东南亚地区,20世纪70年代末期以来,生态农业的研究有了较快的发展。为了促进该地区的生态农业研究,1982年成立了一个地区性的协作研究机构——东南亚大学农业生态系统研究网。其研究内容十分广泛,充分体现了生态农业的多学科性和实用性。跟西方偏重于理论性研究有所不同,该项研究工作的重点在于:提高生态农场的生产率、稳定性、持久性和均衡性;合理开发农村资源;建立多学科的农业生态系统的研究分析方法。

菲律宾是东南亚地区生态农业发展比较迅速的国家。该国认为,农业是自然资源管理的手段,而农业的本质是一门生态工程学。只要人类希望继续生存和进一步繁衍,现代农业就必须沿着生态学的方向发展。基于这种认识,近几年来,菲律宾的生态农业有了蓬勃的发展,既有中型规模的生态农场,也有小规模的家庭生态农场。按其生产结构来分,大致有如下几种类型:

① 畜牧业与种植业结合型;

② 畜牧业、渔业与种植业结合型;

③ 渔业与畜牧业结合型;

④ 畜牧业与果蔬种植业结合型;

⑤ 渔业与果蔬种植业结合型;

⑥ 渔业与稻田结合型;

⑦ 旱地农牧渔结合型;

⑧ 旱地农牧结合型。

除了以上几种形式外,还有一些不同的组合类型。当前菲律宾的生态农业发展,不论是实践还是理论的研究方面,均达到了较高的水平,涌现出像马亚农场等具有世界影响的先进典型。

在泰国,近年来生态农业发展也很快。目前全国有5个府在开展有关的研究和实践。政府的官方组织“泰国人口与社会发展协会”

和非官方组织“适宜技术协会”，负责协调与领导全国的生态农业发展的工作。研究的内容主要包括以下5个方面：

① 稻田养鱼和综合农业技术；

② 发展农村编织业；

③ 新能源的发展利用，特别是农村沼气和小水电的建设利用；

④ 农业区的综合发展，包括土壤改良，水资源的合理利用，以及目的在增加经济收入的其他技术措施；

⑤ 技术开发和研究，内容主要包括农机具的改良、技术服务，以及普及技术知识的教育工作等。

在有关的理论研究方面，坎空（Kaen Khon）大学的耕作制研究组主要研究不同雨量地区耕作方式的技术改进，并在工作中引进了人类生态学的研究成果。清迈（Chieng Mai）大学主要研究在不同地区建立合适的多熟制。

以色列这个人口不多、面积不大、水资源缺乏的小国，近年来，农业生产却获得了迅速的发展，农业总产值的年增长率始终保持在15%以上。大量的农副产品销往国外，被称为“欧洲的厨房”。以色列的农业之所以能获得如此迅速的发展，是与它实行农工一体社会，即所谓基布兹共同农场有关。

以色列的农业生产条件并不好。土地干旱，水资源缺乏（在100万公顷农用地中，只有42万公顷可利用降雨灌溉，其余均为旱地，严重缺水）；当地群众多为移民，没有农业生产经验。因此，以色列不断加强对农业的研究，并以农业作为整个经济发展的基础。而在农业中又以畜牧为主，做到以畜养农。在畜牧业中始终追求使用廉价的饲料、原料，以低廉的成本进行蛋白生产，并尽量减少饲料原粮的进口。

经过长期的摸索，以色列找到了一条适合当地情况的农业发展道路，并建立了一定的组织形式，即农业生产合作社组织。在这些组织里，一部分人从事农业，其他都是兼业者，就是所谓农工一体社会。

随着农业生产力的提高,农业生产本身也将所有的畜产品、谷物、果树、蔬菜、花卉等生产加以组合,使农业劳动力得到了充分的利用。

以色列农业的发展,取得了很大的成功,究其原因,主要有三条:① 因地制宜的发展,特别强调了充分利用太阳能和水,把不利自然条件中的积极因素加以充分发挥和利用;② 科学研究和生产实践紧密配合,努力做到了农业发展以科学为基础;③ 健全的组织和管理机构,以色列特别重视生产的计划性,努力控制过剩生产。为此,成立了全国性的管理委员会,整个生产由它统一计划安排,协调基层农场生产,因此取得了很高的效率。欧洲、非洲的一些国家的生态农业实践也有所进展。这里不多说了。

我国生态农业的发展

我国自古以农立国,具有有机农业的良好基础,农业生产历史上遗留下来的许多优良传统和生产经验,很多都是符合生态农业原则的。事实上,从我国古代最早的《诗经》到近代最后一部整体古农书《授时通考》可以看出,朴素的生态思想是一以贯之,不断发展的,它是我国古代农学理论的精髓。千百年来,我国农民在生产实践中强调:土地的用养结合,使"地力常新壮";循环利用,低能消耗;"天地人合一",人和大自然结合,合理改造大自然。而农书《农桑辑要》、《农桑衣食摄要》、《耕织图》等,从书名到内容都强调了种植业与各业相结合的思想。《沈氏农书》把养猪、酿酒、种庄稼联系到一起,指出:"耕稼之家,惟此最为要务",这不就是我们所提倡的"种、养、加"相结合吗?"相继而生成,相资以利用",这正是我们所强调的物质的循环利用、重复利用,促使经济效益不断增长。由此可见,生态农业的建设与推广,是跟我国传统农业习惯十分符合的,这是生态农业在我国获得迅速发展的重要因素。

近年来,有关生态农业的理论研究和实践试验,在我国获得了广

泛的发展。

20世纪70年代末期,我国学术界对农业发展道路进行了广泛的讨论。1980年在银川召开了全国农业生态经济学术讨论会。在会上我国第一次使用了“生态农业”一词。曾任国家环保局局长的曲格平教授等提出:中国生态农业建设,不仅要发展农业生产,还要以全面提高乡村环境质量为目标。1982年,中国农业环境保护协会在四川乐山召开有关会议,正式向主管部门提出发展生态农业的建议。同年,国务院环境保护领导小组办公室同美国东西方中心环境和政策研究所分别在昆明与广州联合召开了“应用生态学原理增加农业生产”的国际学术讨论会。随后,国务院环境保护领导小组开始组织生态农业的试点工作。1982年11月,北京环境保护科学研究所以卞有生研究员为首的一批科学工作者,率先在北京市大兴县留民营村建立生态农业试点,这是我国第一次对生态农业进行的全面、系统、定量研究与实践。稍后,南京环科所、浙江环保所也分别在南京古泉村和杭州山一村建点试验。从此我国生态农业从理论探讨进入实践试验阶段。

1984年是我国生态农业发展史上不平常的一年。年初,李鹏总理在第二次全国环境保护大会上宣布:“环境保护是我国的一项基本国策。”同年5月,国务院发布《国务院关于环境保护工作的决定》,明确提出:“各级环境保护部门要会同有关部门积极推广生态农业,防止农业环境的污染和破坏。”同年11月,城乡建设环境保护部和农牧渔业部在江苏吴县联合召开“全国农业生态环境保护经验交流会”,研究部署在全国开展生态农业的试验示范工作。1985年,国务院环委会转发了(85)国环字006号文《关于发展生态农业,加强农业生态环境保护工作的意见》,对生态农业的试点工作提出了具体要求。国家环保局在17个省、市、自治区建立了生态农业试点。不久,在各级政府部门的支持下,全国大部分省、市、自治区均开展了生态农业的试点研究,而且规模不断扩大,类型也多种多样。

据不完全统计,至1991年底,全国已有生态农业试点县100多个,试点乡、镇300多个,试点村(场)500多个。试验区人口2600多万,土地面积30万平方千米。1992年,全国各类生态农业试点已发展到2000多个。在开展较早的地区,已涌现出一大批先进典型,如北京的留民营村,通过几年的努力,已基本上建成了一个高产、优质、低耗的农业生产系统和一个高效、稳定、合理的农业生态系统。该项研究成果荣获国家科技进步一等奖。1987年联合国环境规划署命名留民营村为世界生态农业新村,同时该村被评为“全球环境保护500佳”。它标志着我国生态农业的建设研究已处于世界领先地位。

除了留民营村以外,全国还出现很多不同类型、不同规模的先进典型,大至一个县,小至一个家庭户,从平原到山区,从草原到水网区,形形色色,内容各异,充分展现了我国生态农业建设研究蓬勃发展的大好形势。

除了实践的丰硕成果以外,在有关生态农业的理论方面,我国也初步形成了一套有中国特色的生态农业理论,推动着我国生态农业向更高层次、更高水平发展。我们深信,在21世纪,随着生态农业建设、研究的不断发展,特别是全国生态农业县和生态示范区建设的开展,必将对我国农业发展、农村生态环境保护和农业现代化建设产生越来越深远的影响。



生态农业的基本原理

2.1　前进中的生态学

什么是生态学

生态学是研究生物与环境之间相互关系及其作用机理的科学。

自然界的生物都有它特定的生活环境，都有各自要求的适宜的环境条件。环境条件通常分为非生物的和生物的两种。前者如热、光、空气、水分，以及各种无机元素；后者就是动物、植物、微生物和其他一切有生命的物质。这些环境因素一方面对人和生命体（群）起作用，另一方面人类和生物的活动，包括一切生命活动及社会、生产等活动，反过来又影响它所在的环境。生态学就是研究人类、生物与环境之间这种复杂关系的科学。

生态学从生物学的一个分支发展成为当代最

活跃的前沿学科之一,经过了一个长期发展过程。在它整个发展历史上,从来没有像今天这样受到普遍的注意和重视。这是因为,当代人类所面临的一些重大问题,例如不可再生资源的耗费,环境污染,能源和粮食的紧张,人口的急剧增长等等,都与生态学密切相关。

这些问题每一个都十分复杂,涉及的方面很多,要求得到合理的解决,绝非轻而易举。但要解决,首先要有一套正确的理论,把复杂问题的各个方面联系、贯穿起来,加以分析,找出规律,才能采取有效措施。其次要做到能预测每一措施的后果,使问题的解决不致引起副作用。生态学正是担当了这样一个任务。所以在某种程度上说,生态学是发展农、林、牧、副、渔业,实现环境保护,自然资源合理开发利用,以及正确处理人口问题的理论基础。

上述这些宏伟的任务并不是生态学一产生就明确提出来的,而是在它的发展中,不断开拓领域,不断完善理论,特别是20世纪60年代以来才逐渐加深认识和逐渐明确的。由于这个原因,生态学的定义、研究范围,正在经历着重大的变化。今天的生态学不仅研究动物、植物、微生物跟环境之间的关系,研究生活在一起相互依赖的有机体集群,而且也研究生长着有机体的陆地上、海洋中、空气中以及淡水中的能量流和物质循环,研究地球上的各种生态系统。所以美国当代最有代表性的生态学家奥杜姆(E. P. Odum)给生态学下了一个十分广泛的定义:生态学是对“自然界的结构和功能的研究”。奥杜姆还强调,人是自然界的一部分,也包括在生态系统之内,而不是在生态系统之外。

有趣的是,ecology(生态学)一词与economics(经济学)一词来源于同一词根,后者的原意是研究“家务管理”。生态学实际上可以是经济学上的成本会计在自然环境以及人为构筑系统上的应用。因此,有人干脆把生态学称之为“自然界的经济学”(the economy of nature)。

研究范围的扩大,也改变了生态学的性质。生态学是在生物学中产生和发展起来的。按传统的理解,毫无疑义,它是生物学的一部分,与“环境生物学”相当。然而,今天生态学的研究重点既然已转到研究地球的整个“家务”,研究“环境系统”,而这种研究正好与Ecology原词词根的意义相合,那么,应该说,生态学已经从生物科学的一个分支成长为一门重要的综合性科学,它把生物科学、环境科学和社会科学紧紧地联系在一起。

生态学的迅速发展,一方面是由于要求它担当解决当代各种困难问题的重任,另一方面也是由于科学技术的进步,多学科的相互渗透,特别是新系统论及现代控制论等进一步丰富了生态学的内容及其方法论。现代生态学方法论已深入到包括社会科学在内的许多科学领域。而遥测技术及计算机技术等的应用,更有力地推动了生态学的发展。

生态学既可以按研究的生物类别分为生物生态学、人类生态学、动物生态学、植物生态学及微生物生态学,又可以按环境性质分为湖沼生态学、海洋生态学、山地生态学等。而近代生态学的发展,一方面在基础研究领域,趋向于微观与宏观相结合,探索生物跟环境之间的实质联系及其作用机理;另一方面明显表现出跟社会经济学的结合,在自然保护和经济建设中发挥作用。在实际应用中,已形成多个各具特点的生态学分支,例如由系统工程学同生态学相结合的系统生态学;生态学与数学相结合的数学生态学;生态学同社会科学相结合的自然生态——社会经济系统及都市生态学;生态学同经济学相结合的生态经济学;生态学同地理学相结合的地理生态学等等。此外,它跟生产建设相结合还形成了农业生态学、资源生态学、工业生态学、环境保护生态学等。这些分支学科的出现,充分反映了生态学在广度和深度方面的发展水平。

生态学的多学科性及其与分支学科的关系如图2-1所示。

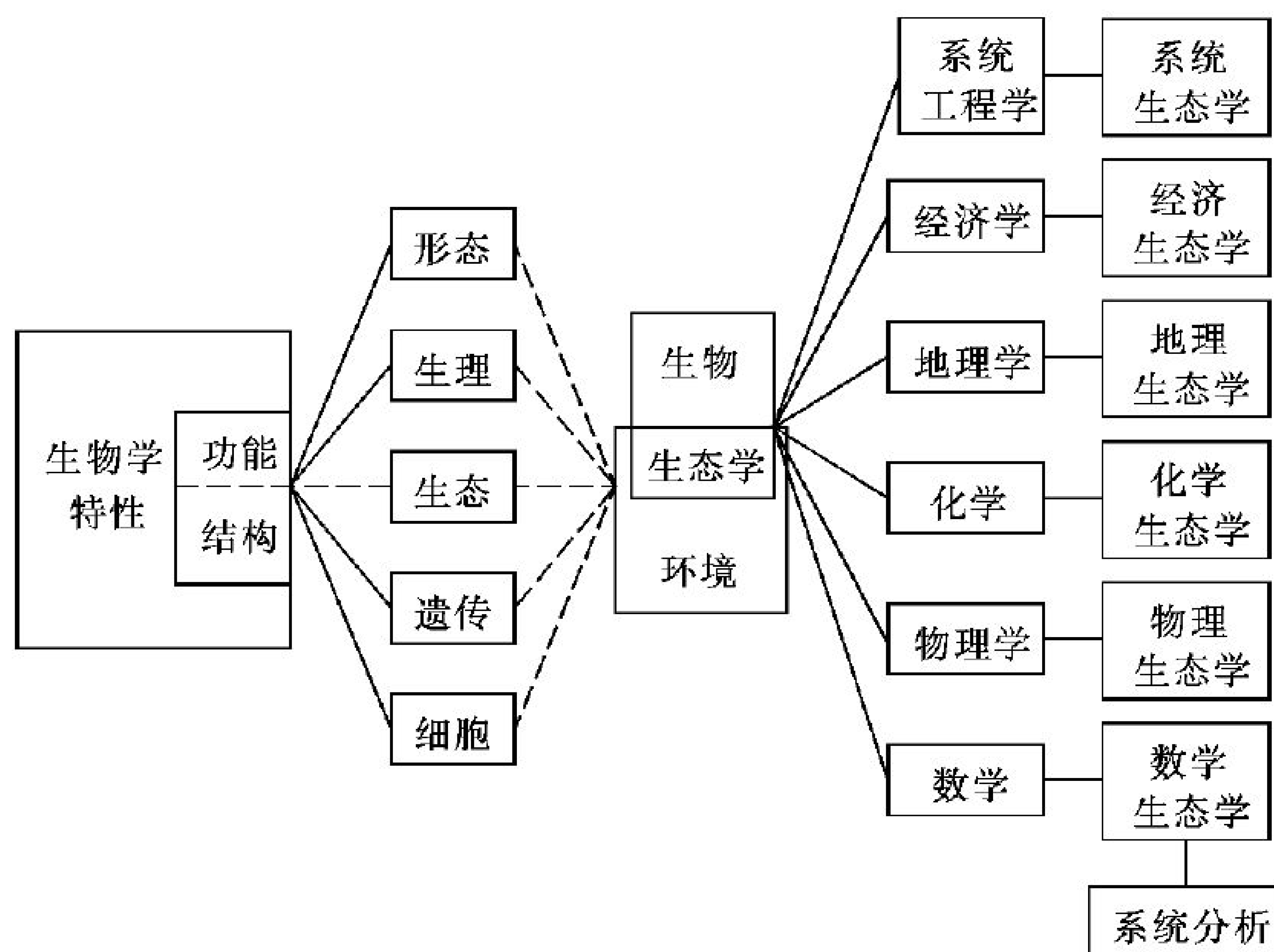


图 2-1　生态学的多学科性及其分支学科

生态学研究简史

保护自然、环境、资源和生态,虽是近一二十年才作为重大的社会问题而提出,但类似思想的萌芽则是很早以前的事了。

在国外,早在罗马、希腊时期,大思想家毕达哥拉斯多德等就有了保护环境的思想。到 1829 年,法国首先制定了《鱼类保护法》,这是国外最早的关于保护资源、水质控制的法令。而生态概念的提出,则是 1865 年的事。莱脱(H. Reiter)于 1865 年,海克尔(E. Haeckle)于 1896 年,正式提出“生态学”(ecology)一词,并定义为“研究有机体跟有机及无机环境之间相互关系的科学”。1876 年恩格斯在《劳动在从猿到人转变过程中的作用》中,提出“协调发展与环境关系”的思想。1894 年马克思在《资本论》中论述了生产和消费排泄物的利用及对环境的污染,都比较明确地谈到了有关生态保护和平衡的问

题。后来不少国家，如英国、美国、原苏联、日本等都提出了或制定了各种保护环境和资源的法令。但系统生态学的研究，却开始于1935年。这一年，英国的泰斯利(A. G. Tansley)在《植被概念与术语的使用和滥用》一文中，正式提出了“生态系统”(ecosystem)的概念。他认为，“有机体不能与它们的环境分开，而必须与它们的环境形成一个自然生态系统”。他还明确指出，生态系统包括构成基础的植物和与植物共栖的动物，以及作用于生物的环境中的物理成分和化学成分，这些生物与非生物的组合，构成一个能够自我维持的自然实体，在其永恒流动过程中，各成分不断趋向平衡而处于稳定。至此，莱脱和海克尔提出的关于生态学概念，经过60余年的发展，由于泰斯利引入生态系统的概念而有了明显的不同，使生物与环境关系的研究达到了较全面的科学概括。

稍后，在1940年，苏联的苏卡乔夫提出“生物地理群落”的概念，这一概念实质上跟“生态系统”概念十分相近，现在大多数生态学家同意把二者作为同义语使用。

对系统生态理论建立起了重大作用的是美国青年动物学家林德曼(R. Lindeman)夫妇，他们于20世纪30年代末期在明尼苏达一个衰老湖泊Cedar Creek Bog进行长时期的详细研究，有了关于从一个营养级位到另一个营养级位的养分移动的本质了解，因而创造了营养动态观点。1942年他完成论文《生态学中的营养动态方面》。这是一篇关于生态系统中能量流的经典著作，成为后来关于植物和动物群落中能量动态流动的许多研究的基础。他提出了生态系统的“金字塔营养级学说”和“十分之一规律”，以数学关系定量地表达群落中的营养相互作用，建立了养分循环的理论模型，标志着生态学从定性走向定量的开始。

当代的生态学家中对系统生态学贡献较大的是奥杜姆兄弟(E. P. Odum，H. T. Odum)。E. P. Odum的《生态学原理》一书，对系统生态学的建立、生态学知识的传播，以及对青年生态学家的培养

起了很大作用。H. T. Odum 对生态系统能量流动的分析研究卓有成效。比利时的杜格米特(Duvigmeaud)和斯米特(D. Smet)关于欧洲落叶阔叶林的研究,则对生态系统养分循环的研究起了示范作用。

在我国,早在 3000 多年前的西周时期,就有了保护生态、资源的法令,如《仪崇令》,这是目前所知世界上最早的关于水源、动物和森林资源保护的法令。公元前 12 世纪,朱熹提出“天无弃物”,表达了废物利用的思想。公元前 221—206 年,秦朝的《秦律四律》也是专门保护自然资源和生态的法律。但是我国最早使用生态学一词,是在清朝末年由日本传入的。在生产实践中,农业生产历史上遗留下来的优良传统、生产技术和经验,很多都是符合生态农业原则的,例如珠江口三角洲地区的桑基鱼塘生产方式,就是一种“种桑养蚕,蚕砂养鱼,鱼粪肥塘,塘泥肥桑”的生物能多次利用的生态系统。现在则进一步发展成为一种桑基(果园)、鱼塘、农舍三结合的“闭路循环”小型生态系统。又如,早在明清时期浙江嘉(嘉兴)湖(湖州)地区已形成的农林牧副渔综合经营,也是一种合符生态农业原则的生产方式,对当时自然资源的合理利用,土壤肥力的保护,粮食产量的提高,农业经济的发展,都曾起过重要的作用。云南西双版纳地区傣族人民生活富裕、环境优美、精神愉快、身体健康,就是建立在茅屋竹楼、村寨森林、坎区稻田和牛羊成群相结合的生态系统的基础上的。

近些年来,生态农业的理论研究和试验实践,在我国有了较为广泛的开展,特别是党的十一届三中全会以后,党中央提出了保护农业生态平衡,加速农业现代化建设的号召,对我国生态农业的研究与建设是一个极大的推动。据作者所知,目前北京、浙江、江苏、湖北、辽宁、甘肃、广东等省市的有关科研单位和高等院校,均开展了有关的研究和实践活动。1982 年 9 月在昆明市召开了第一届生态农场国际会议,10 月在南昌召开了全国生态经济学讲座,1984 年 2 月在北京又召开了全国生态经济学讨论会,所有这些都对我国生态农业的研究和建设起着推动作用。

2.2 生态系统

系统与模型

在具体讲到生态系统时，必须先了解什么是系统。

“一个系统是组成一个整体的相互依赖的部分或事件的集合。”或者说，系统是“由多个以某种方式连接起来的可识别的部分组成的整体”。

例如一台无线电收音机，由晶体管、放大器、导线、扬声器、控制旋钮等组成，每一部分有它特定的功能，然而它们的作用的表现取决于所有其他部分的适当工作。通过电能的输入，所有部分作为整体进行工作，拾取某种波长的电波，然后作为输出，把声音传送出去。无线电收音机是很明显的一个系统。

由植物、动物、微生物和周围环境相互作用组成的生态系统也是一样，它由可辨认的部分——组分组成，各组分以特殊的方式相互作用。来自太阳的能量输入，被植物固定，并传递到动物组分，环境中的养分被植物吸收，积累在植物和动物的组织中，从一个采食类群传递到另一个采食类群，最后被分解为微生物释放到环境中再进行循环。

所有系统都有几个共同特性：

① 利用能量的所有系统都服从热力学规律（热力学第一、第二定律）；

② 系统的边界由我们根据讨论的范围加以确定。

所有的系统都包含其他的系统，它本身又是其他系统的部分。一个系统的组分系统称子系统，子系统又能分为子子系统或元素。所以，系统是一种等级系列组织。例如一棵树是一个系统，树上的一片叶子也是一个系统，而树和周围其他树、灌木、草本植物又共同组

成一个系统。

系统有不同的类别,其行为受环境经常影响的系统是开放系统(open systems);其行为大部分由自身的组分决定的是封闭系统(closed systems)。开放系统依赖一个外部环境提供输入和接受输出。无线电收音机是开放系统的例子。生态系统同样也是一个开放系统。如果电能停止,收音机马上就不能工作;如果太阳的能量被切断,生态系统也将停止运转。

根据系统的简单和复杂(有无自控)还可将系统分为简单系统和控制系统。有些系统,每一行动导致一可预测的反应,这样的系统称为简单系统(simple systems),例如温度计,就是简单系统的例子。但是大多数系统,是以各部分之间的相互联系所形成的集体行为为特点的,这种系统叫做反馈系统(feedback systems)或控制系统(control systems)。因为这种系统通常包含多个分室,后者通过自己的行为(反馈)或者抵消或者减弱起始的影响[负反馈(negative feedback)],或者加强它[正反馈(positive feedback)],而对改变了的输入或输出起反应。换个说法,控制系统具有某种反馈功能,使它能自动调节。生态系统就是属于这种反馈和控制系统。

讲系统不能不联系到模型。在科学中,实际世界的简化表达叫做模型(models)。换句话说,模型是模仿实际世界现象的简化了的表达。模型使复杂的情况被了解并能预测它的变化。模型的最简单的形式是语言的或图解的。前者由简明的陈述构成,后者由图构成。但是语言模型和图解模型都是非正式的模型。正式的模型是数学模型,它是一个系统的全部基本要素及其关系的数学表达。研究生态系统的系统生态学的主要任务就是为了实验目的而建造代表实际系统的模型。模型可以用于预测该系统可能发生的未来行为,并用于实验它对各种各样条件的反应。而这在实际系统操作中是不可能的。

生态系统数学模型的建造是十分困难的，因为要使模型有效，它必须模拟实际系统，至少在某种有限的范围内，包括重要的变量，并用数学表达。而一个生态系统的变量是极其巨大的，有时可以上千。

生态系统中最常使用的是分室模型（compartment models），这种模型把系统分解为代表子过程（subprocesses）的若干分室。分室模型至少包含以下三种组分：

① 表述系统性状的许多变量中挑选出来的状态变量；

② 来自外界的驱动该系统的驱动变量；

③ 把分室互相连接起来的通道或流。

生 态 系 统

我们知道，生态系统是自然界的基本功能单位。那么，什么是生态系统呢？可以简单地定义如下：包括生物有机体及非生物环境的自然界的任何部分，只要其中生物跟它们的非生物环境（物理环境）之间进行连续的能量和物质交换，就叫做一个生态系统。通俗一点来讲就是，自然界中水、土、光、热、气等非生物因素，以及植物、动物、微生物等生物因素不是孤立地存在着，它们彼此之间是相互联系，相互依存，相互制约的。每一个因素受到周围各种因素的影响，也反过来影响其他因素，而且其中如果有一个因素有了变化，其他因素就会发生一系列的连锁反应。这些错综复杂的因素在自然界中构成了一个不可分割的统一综合体，这一综合体就叫做生态系统。因此，森林、草地、冻原、荒漠、湖泊等是生态系统，城市、工矿区、村庄、河流也都是生态系统。不管对什么样的生态系统来说，能量是最重要的，因为能量是所有生态系统都赖以推动运转的基础。因此，生态学家们以能量的来源为依据，将生态系统加以分类。这是生态系统最本质的分类法。生态系统依赖两种主要的能量来源：太阳能和燃料。有些系统是太阳供能的，另一些则是由燃料供能的。按照能量来源，生

态系统可分为以下四大类。

（1）无补助的自然的太阳供能生态系统

它们是主要或完全依赖太阳的直接辐射的自然界的系统，如辽阔的大洋、大片的高地、森林和草地，以及巨大的深湖属于这一类，它们很少有加强或补充太阳辐射的有效的能量补助来源。一般说来，这种系统供能量低，生产力也低，或者说做功的能力小，年均能量流（功率水平）为$(10^3\sim10^4)\times4187$焦/米^2。这样的系统本身不能维持高密度的种群，但由于它们的巨大面积，所以仍极为重要。它们对于地球的稳定性，大体积的空气净化，水循环，气候调节等有着巨大的意义。同时它们还能生产人类所需要的食物和纤维的一部分，而不需要经济上的花费和人的管理。此外还有很高的美学价值。

（2）自然补助的太阳供能生态系统

有些地方，有自然提供的其他能源，以补助太阳辐射，从而增加有机物质产量。在这种情况下，功率水平能大大地提高，甚至提高一个数量级，这里年均能量流是$(1\sim4)\times10^4\times4187$焦/米^2。例如潮汐河口湾，某些雨林属于这一类，它们是自然界的自然生产力高的系统，不仅具有很高的生命维持能力，而且生产过剩的有机物质，可输入到其他系统或储存起来。

沿海河口湾是自然生态系统被潮汐、海浪和海流的能量补充的好例子。因为来回流动的水帮助矿物养分进行循环，运来食物和运走废物，河口湾中的有机体能够把它们的力量集中于更有效地将太阳能转变为有机物质。这就是河口湾为什么比邻近的陆上地区或水塘更为肥沃的缘故。

（3）人类补助的太阳供能生态系统

从这一类的例子中我们可以看到，人类不仅通过自己的努力大大提高自然生产力，而且可以把生产力引导到生产最需要的，最容易收获、加工利用的食物和纤维物质。我们所要讨论的生态农业系统就是这一类的典型。我们知道，食物的高产量是被补助能量（归根到

底主要是燃料）的大量输入所维持，这包括耕种、灌溉、施肥、遗传选种和害虫控制等。实际上，拖拉机燃料以及动物或人力对农业生态系统的能量输入几乎和太阳光一样多，这种人类补助的太阳供能生态系统的功率水平是年均(1～4)×10^4×4187 焦/米^2。

（4）燃料供能的城市——工业系统

在这样的系统中，燃料的大量使用在很大程度上代替了而不只是补助了太阳能。作为太阳供能系统的产品的粮食在这里只是一种外部事物。应该注意的是人口稠密的城市——工业区对能量的巨大需要，其功率水平比自然太阳供能生态系统中维持生命的能量流至少大 2～3 个数量级，达到年均(1～300)×10^4×4187 焦/米^2。

应该强调指出，燃料供能系统和自然太阳供能系统不同，从生命维持的角度讲，它是一种不完全的或依赖的生态系统，它不生产食物，它们能“同化”的废物也非常少；它只能循环水和其他物质必需品的一小部分。运转它的能量大部分来自外界，它必须依赖前面三类生态系统维持生命和提供粮食与燃料。因此，公顷城市不仅需要许多公顷农业生态系统供养它，而且需要更多公顷数的自然或半自然的环境为它处理二氧化碳和其他大量废物，供给它大量水和其他物质。总之，高功率的燃料系统给邻近的低功率的太阳供能系统的压力是巨大的。

应该看到，自然的自我维持的太阳供能生态系统对人类有直接的价值，不仅由于它们具有生命维持和同化废物的能力，而且也由于它们具有提供食物、纤维以及其他资源和娱乐潜力。

上面我们依据能量的不同来源对生态系统进行了分类，但一般情况下，我们还可以根据生态系统的类型或从地区的角度来对生态系统加以分类或加深理解。从类型的角度看，森林、草原、荒漠、沼泽、果园、农田、湖泊、水库等就是不同的生态系统；从地区的角度看，一个流域（大河流或其支流）、一个城市、一个村庄等也可以看做是不同的生态系统。

生态系统的组成及特征

自然界的生物尽管十分复杂、多种多样,但根据它们在能量和物质运行中所起的作用,可以简化为三类:生产者、消费者和分解者。这三类生物由于取得营养的方式不同,因而在生态系统的物质和能量运动中各自起着独特的作用。因此,所有的生态系统,不论是陆地的或水生的,都具有四个基本的组分——非生物环境,生产者,消费者和分解者。

(1) 非生物环境

① 无机物质　碳、氮、水、氧、矿物盐类等;

② 有机物质　碳氢化合物、蛋白质、类脂物质、腐殖质等;

③ 太阳能及气候状况　即确定生存条件界限的温度及其他物理因素。

(2) 生产者

生产者主要是绿色植物,还包括能进行化学合成和光合作用的某些细菌,它们是能把简单物质制造成有机物的自养生物。它们的主要作用是进行初级生产,把取得的太阳能储存起来,不断为其自身所利用,同时它们吸收二氧化碳,放出氧气,这样植物就为其他生物提供食物和氧气。太阳能只有通过生产者才能源源不断地固定在生态系统内。

(3) 消费者

消费者由动物构成,它们不能自己生产食物,只能利用植物所造成的现成的有机物,从植物得到它们所需要的能量。在利用这种能量的同时,吸收氧气,放出二氧化碳。消费者是异养生物。消费者又分为两种。

① 草食动物(第一性消费者)

它们直接取食植物以获得其营养,如马、牛、羊、某些昆虫等。

② 肉食动物

第一级肉食动物(第二性消费者)是吃草食动物的动物。如田鼠、某些鸟类、蜘蛛、蛙、肉食昆虫等。

第二级肉食动物(第三性消费者)是以第一级肉食动物为食的动物。如狼、狐等。

第三级肉食动物(第四性消费者)是虎、狮、鹰等,凶猛敏捷,又叫"顶部肉食动物"。

(4) 分解者

分解者又称还原者,属异养生物。主要是细菌、真菌、某些原生物以及其他微生物。它们分解有机化合物,即从生态系统中的废物产品和死亡有机体取得它们的能量。它们把动植物的复杂有机分子还原为较简单的化合物和元素,释放归还到环境中,供生产者再使用。

分解者的工作在生态系统中是十分重要的过程,没有这一过程,死亡的有机体将堆满地球。

此外有些动物既吃植物,又吃草食动物,称为杂食动物。例如熊等。从食物的性质看,人也属于杂食动物。

在一个生态系统中,生产者、消费者、分解者,它们通过物质循环和能量流动而彼此紧密联系起来,构成生态系统的功能单位。而所有这些组分,又可以分为两类,一类为基本组分,它们是任何一个生态系统中所不可缺少的,如光能绿色植物,细菌等。另一类是非基本组分,如草食者、肉食者等,它们不是在任何生态系统中都存在,而存在与否,也不影响生态系统的根本性质。

因此,我们可以清楚地看到,在一个生态系统内,能量是在不断流动、转化着,即由不能为动物所利用的太阳能,经过植物吸入体内后,变为动物可以吸收的化学能;而营养物质也是在不断循环交换,先从无机形态变为有机形态,又由有机形态变为无机形态,互相不断地在转化着。

正是因为植物的养料主要是无机物,而动物的食料主要是植物

和其他动物，所以可以简单地说，就是植物吃非植物，动物吃植物。从生物的一般关系可以看出，异养生物对于自养生物，历来都有它的依赖性，而实际上大多数动物都是以植物群落为营养和庇护之所在，这也是我们常说为什么植物在自然生态系统中起着十分重要作用的原因。而植物生活又固定于一定的空间(环境)，它对当地的土壤、生物及小气候等都有影响。因此，它们之间既是相互依赖，又是相互制约，从而构成了所谓生态系统。由此可见，生态系统的最核心的过程是能量流动和物质循环。它们通过动植物和微生物之间的关系完成系统中物质与能量的循环与转化、流动过程。也正是这种既相互协调又相互矛盾的关系，推动着生态系统的变化，并保持着相对稳定的动态平衡。说它是动态，就是因为它不断在变化着；说它相对稳定，就是因为它在某一特定的空间和时间保持着与环境相对应的稳定状态。

所有生态系统都具有以下的基本特征：

① 通常具有与特定的空间相联系的特征。它包含一定地区和范围的空间概念，反映一定地区的特性及空间结构，如水平结构、层次结构，以及层次与水平相结合的多维空间结构。每个层次空间都具有一定的生态条件，栖居着一定的生物群。

② 具有发育、繁殖、生长与衰亡等生物有机体的特征。生态系统可以分为幼期、成长期和成熟期三个阶段，表现出时间概念的时间特性，从而形成了系统“演替”。这种特征对研究生态系统的生物生产力对外界条件变化的适应性，以及被损伤后的再生力都是重要的。

③ 具有生物代谢机能的特征。生态系统的代谢是通过生产者、消费者、分解者三个不同营养水平的生物类群而完成的。这三个生物类群是生态系统得以完成物质循环的基本结构。

④ 具有生物机体自动调节的功能。生态系统自动调节机能主要表现在三方面：第一是同种生物的种群密度调节。这是在有限空间内比较普遍存在的种群变动规律。其次是异种生物种群之间的数

量调节，普遍出现于植物与动物、动物与动物之间有食链关系的类群，以及需要相似生态环境的类群。第三是生物与环境之间的相互适应调节。生物经常需从所在的生态环境摄取需要的物质，为了保持平衡，生态环境则要求对其输出的物质进行及时补偿。生物与生态环境之间进行着输出与输入之间的供需调节。

从以上所讲的几个特征中可看到，整个生态系统都包含着复杂的信息传递及反馈控制，这也就是生态系统动态平衡和可塑性形成的机理。

由于生态系统是生物圈的基本功能单元，经常进行着物质循环和能量交换，因而在长期进化过程中，建立起生物圈与生态系统，生态系统与相邻生态系统之间相互协调与补偿的关系，使整个自然界保持一定限度的生态平衡。若某个环节在允许限度内有所变化，整个系统可以进行适当调节，保持原有相对稳定状况不遭受破坏。反之，如由于人类的活动或自然力所造成的摧残，超过自然生态系统恢复的能力，则包括人类在内的一切生物也必将受到损害，即通常所说的生态破坏，严重时会导致灾害的发生即所谓的生态灾难。

食物链与营养级位

被植物储存的能量以一系列的吃与被吃的关系通过生态系统，这就叫食物链。在生活中，食物链或多或少含含糊糊地为人们所熟悉。例如，人吃大鱼，大鱼吃小鱼，小鱼吃浮游动物，浮游动物吃浮游植物，而浮游植物吸收太阳能；或者人吃牛肉，牛吃草，而草吸收太阳能等等，都是食物链的形象化说明。而在吃与被吃的每一次转化中，大部分的潜能（80％～90％）化为热能消失了。因此，在食物链的整个顺序中，环节的数目是有限度的，通常为4～5级。食物链越是短，可用的能量就越大；反之，食物链越长，可用的能量

就越小。

食物链通常分为两种基本类型：放牧(生物)食物链，以绿色植物为基础到食草动物(即以活的植物为食的生物)，进而到食肉动物(即以动物为食)；腐屑食物链，从死的机体到微生物，接着到摄食腐屑生物及它们的捕食者。

食物链可用图表示，它由一系列的箭头组成，每一个箭头从一个种指向另一个种，后者以前者为食物。

食物链是生态系统中的一种重要结构，食物链越长，系统越稳定。处于链的起点的生物量最大，如海洋的浮游生物，陆地的绿色植物。处于末端的生物量最小，如森林中的虎、狮子，海洋里的鲸。一种动物吃的食物种类越多，就越能形成一种网状结构。这是因为在实际生态系统中，一个食物链常常伴随有各种不同的分支和平行关系，常常是一种动物并不只吃一种食物，它本身也可以被多种动物所吃，它们构成分支的短食物链，而与较大的食物链相联结，所以在一个生态系统中，通常都是各种长短食物链错综联结构成食物网。

在复杂的自然群落中，其食物以同样数目的步骤从植物取得的有机体属于同一个营养级位。这样，绿色植物占据第一营养级位(生产者级位)，食植物者(植物动物等)是第二营养级位(第一性消费者级位)；吃植物和动物的肉食动物是第三营养级位(第二性消费者级位)；或许还有第四营养级位(第三性消费者级位)。但是，需要强调说明的是，营养分类是功能的，而不是种属的。根据实际同化的能量来源，一个种群可以占据一个营养级位，也可以占据一个以上的级位。例如某些藻类可能部分地依赖于它们自己的食物，部分地依赖于其他藻类制造的食物。

图 2-2 是一个食物链的能流图。图中方框代表营养水平(种群物质量或生物量)，管子描绘生物之间(营养级位之间)的能量流动。落到绿色植物(即生产者)上的平均太阳能的大约一半被叶子吸收，

大约1%～5%被转变成食物能。D_g 或 A 是第一性生产量，它是被固定的有机物质的总和，包括在测定期间被植物呼吸用去的能量在内。P_N 是净第一性生产量，是测定期间呼吸消耗之外储存在植物组织中的有机物质。净生产量是异养有机体潜在可以利用的食物。当植物在有利的光热条件下迅速生长时，植物呼吸可能只需要约10%的总生产量，而净生产量可达到总生产量的90%。然而在自然界的大多数情况下，净生产量是总生产量的较小部分，通常大约为50%，如图2-2下线中所示。净第一性生产量的一部分可以被储存，也可以被运走一部分（NU）而成为异养有机体的能量来源（I）。消费者吃下食物的某些部分常常不能消化和同化，所以某些能量可被排泄出去而未被利用（NA），这一部分可能被取走、储存，或被微生物或其他异养有机体同化。消费者和生产者一样，必须呼吸（R）一大部分被同化了能量（A），以便维持结构和功能。R 流代表生物组分的热损失。没有呼吸损失的同化能量是有效的生产量（P_N，P_2，…），它可以采取增长新组织，繁殖和个体增长（种群增长）的形式。异养级位上的生产量是第二性、第三性生产量。

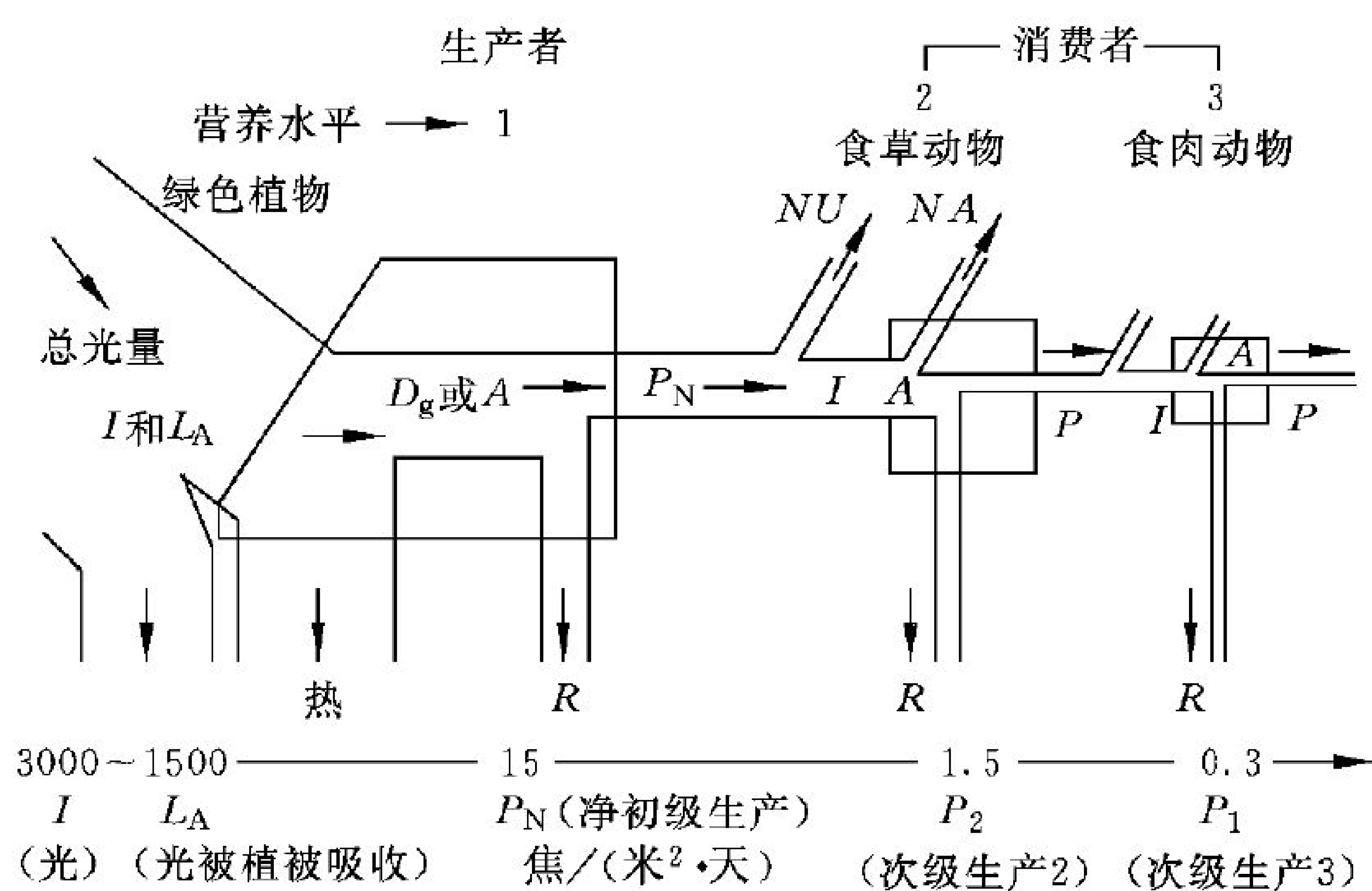


图2-2 食物链能流示意图

粗略地说,在食物链每一环节上可以利用的能量的减少在第一营养级位上大约是两个数量级,以后是一个数量级。如果每天被植物吸收的光能平均是 6.28×10^6 焦/米^2 的话,我们可以期望有 6.28×10^4 焦/米^2 净植物生产量,0.628×10^4 焦/米^2 的第一性消费者(植食动物)生产量,0.126×10^4 焦/米^2 的第二性消费者(肉食动物)生产量。因而按百分数的能量转移效率在第一营养级位是1%,在异养级位是10%～20%。

上面我们介绍了食物链上的营养级位以及能量沿着食物链传递变化的情况,这对了解和研究生态系统是十分重要的。

此外,我们研究食物链,还可以看到一个很重要的现象,即食物链的富集效应。即某些物质当它们沿食物链通过时,发生了浓集。我们已经知道,被一个有机体接受作为食物的能量,只有一部分用于建造新的组织,大约有50%浪费在呼吸过程。既不在呼吸中代谢掉,也不容易被排出的任何一种物质,将会浓集在有机体的组织中,这一现象叫做食物链浓集,或者叫生物放大。这是现在许多高等有机体中发现积存高浓度的持久性农药和放射性物质的原因,这些浓度可以比周围环境中所发现的要高千万倍。表2-1为DDT残毒通过食物链而富集的例子。在美国长岛为了防治蚊子,多年来都是将DDT喷洒在沼泽上,尽管虫害专家们小心地掌握喷洒浓度以免直接使鱼或其他野生物被杀死,但他们并没有考虑到生态的过程。在此生态过程中,DDT残毒确实没有被冲到海洋中,但却被腐屑吸收并富集在腐屑和小鱼的组织里,依次又集中在最高的捕食者(如食鱼鸟)的组织里。在表2-1中,食鱼者的含残毒量跟水中含残毒量之比大约为50万倍。在仔细研究了食腐屑食物链模型后,就可以了解易于吸附腐屑或土壤颗粒上的任何物质在肠道中溶解,再经过食腐屑食物链从一开始就进行的摄入再摄入过程,结果就变得浓缩了。

表 2-1　食物链浓集 DDT 残毒的情况

食物链节位	DDT 残毒/10^{-6}
水	0.00005
浮游生物	0.04
银边鳞鱼	0.23
羊头绸鱼	0.94
小棱鱼	1.33
针鱼(吃小动物)	2.07
鹭(吃小动物)	3.57
燕鸥(吃小动物)	3.91
鲱鸥(吃废动物)	6.00
鱼鹰卵	13.8
秋沙鸥(食鱼鸭)	22.8
鸬鹫(食大鱼)	26.4

此外我们还可举出一些例子,来说明食物链对环境污染物浓集而影响人类健康的严重后果。

显然食物链的研究分析,对农业生态系统的生产结构和产品布局安排是十分重要的。食物链越长,预示着经营的多样化,也意味着结构越稳定。如果食物链过短,如只有种植业,或仅有畜牧业,则是结构不稳定或不发达的表现。同样对于工业生产、社会经济来说,食物链的研究也具有重要意义。因为“食物链”结构存在于中间产品的流动过程,后一部门“吃”前一部门的产品就构成了一个功能单位,因为从前者到后者变换着物质形态,消耗着能量,这样的阶段越多,“食物链”越长,预示着工业的门类和环节越多,工业就越发达,社会结构层次也越多,这是社会进步与繁荣的表现。如果“食物链”越短,如只有农业,或只有某一门类的工业等都是社会不发达的表现。由此我们还可以

看到,在生态系统中,初级生产者即食物链的起端个体数量最大,但在社会经济中往往出现初级生产部门如农业极端落后的情况,所以脱离农业基础单纯追求社会某一部类生产优先增长是否合理?这些都是需要认真研究解决的问题。显然,通过生态系统理论的研究,将有助于加深我们对这些问题的认识,并求得合理的解决。

生态系统的效率

既然生态系统中不停地进行着能量变换,我们就可以追问一下它的相对效率问题,描述生态系统相对效率的生态效率很多,这里我们只讨论四个最主要的,即同化效率、生长效率、林德曼效率和消费效率。在具体讨论生态效率之前,先介绍下列几个参数:

- 摄取量　被一个消费者吃进的食物或能量的数量,或被一个生产者吸收的光的数量。
- 同化量　是一个消费者的消化道中吸收的食物的数量,或被一个分解者吸收的体外产物,或被一个植物在光合作用中固定的能量。
- 呼吸量　在代谢和所有形式的活动中损失的全部能量。
- 净生产量　呼吸之后积累下来的能量(形成新组织),可以为下一营养级位利用的部分。

(1) 同化效率

对生产者,这种效率可表达为

$$\text{同化效率}=\frac{\text{被植物固定的能量}}{\text{吸收的光能}}\times 100\%$$

对于消费者,则表达为

$$\text{同化效率}=\frac{\text{被吸收的食物(同化量)}}{\text{吃下的食物(摄取量)}}\times 100\%$$

$$=\frac{\text{被同化的能量}}{\text{摄取的能量}}\times 100\%$$

同化效率用来量度有机体或营养级位利用能量(食物)的效率。同化效率在肉食动物中比在植食动物中要高些,因为肉食动物的食物在化学组成上更接近于它自己的身体。

(2) 生长效率

$$生长效率=\frac{在营养级位\ n\ 上的净生产量}{在营养级位\ n\ 上的同化量}\times 100\%$$

相对于同化量的净生产量在较高营养级位上减少,因而植物的生长效率通常大于动物的生长效率。植物将它们光合能量的大约40%用于呼吸,而肉食动物将它们同化了的能量的大约60%用于呼吸。

(3) 林德曼效率

这是级位之间的效率。

$$林德曼效率=\frac{在营养级位\ n\ 上的同化量}{在营养级位(n-1)上的同化量}\times 100\%$$

根据林德曼测量的结果,似乎对于每一组营养级位有10%左右这样一个常数,这一情况曾被认为是一项重要的生态学概括,称为"百分之十律"。

(4) 消费效率

$$消费效率=\frac{在营养级位\ n\ 上的摄取量}{在营养级位(n-1)上的净生产量}\times 100\%$$

消费效率量度一个营养级位对它前面的一个营养级位的相对压力,消费效率可能从第一营养级位起稍微升高。但是一般来说,似乎是在20%~25%范围内下降。这意味着,每一营养级位的净生产量的75%~85%进入到分解者链,被损失到系统以外。

草食动物在草地生态系统中比它们在森林生态系统中消费较大部分的第一性生产量。水生食物网中的浮游草食动物消费甚至更大部分的净第一性生产量。在森林生态系统中几乎大部分第一性生产量参加到分解者食物链,而只有很小部分被草食动物所消费。

2.3 生态平衡

什么是生态平衡

长期以来,人们对于“平衡”这个词存在一种错觉,认为“平衡”是保守、消极的东西,而“不平衡”才是进步、积极的思想。这种错觉来源于把“平衡”和“静止”当作同义语,也就是把平衡跟变化、运动、发展对立起来看,认为讲平衡就是讲固定不变,停滞不前,不发展。这种观点完全是一种误解。拿人们生活中常见的事例如骑车、溜冰、杂技中的走钢丝来说,都是在运动中保持平衡,他们都在前进,都在运动,但必须保持平衡,而一旦失去这个平衡,就要发生事故。

人体的生理现象也是如此,消化系统中的进食与排泄,循环系统中的动脉与静脉,神经系统中的兴奋与抑制,呼吸系统中的吸氧与呼出二氧化碳等,无不是在维持这个平衡,一旦上述系统中的任何一个环节发生障碍,就会生理失调,生病,甚至引起死亡。但是谁也不能认为人们新陈代谢的生理作用的平衡是静止不变,不向前发展的。所以从人类的日常生活和生理作用来说,只有在维持平衡的基础上,才能正常地向前发展。

再就经济生活来说,也是一样的道理,必须保持一定的平衡,并在平衡之中求得发展。比如钢铁生产,不仅要计算钢铁生产内部的综合生产能力,还要计算煤炭、电力、运输等部门的生产能力,能否平衡地向前发展。如果单纯强调“以钢为纲”,而忽视煤、电、运输等部门的发展,钢铁也是搞不上去的。所以搞经济建设,搞任何企业、事业,都必须考虑平衡的问题。

自然界的生态平衡也是如此,例如森林生态系统中的乔木、灌木、草本植物在一定的气温条件下利用大气中的二氧化碳,吸收土壤

中水分和矿物养分，在叶绿素内不断地把太阳能转化为化学能储存起来，一些动物靠植物产品而生活，另一些动物又靠吃草食动物而生存，动植物残体经过微生物分解后变为矿物养分，又供植物吸收利用。因此在森林生态系统中物质不断地循环，太阳能不断地转化为化学能。系统中的生物成分（植物、动物、微生物）以及非生物成分（光、水、土、气、热）无时不在变动着。我们说在一定的时间和相对稳定的条件下保持森林生态平衡，显然不是说森林生态系统中各成分是静止不变的；只有在维持这些成分之间的平衡状态下，森林中的动物、植物、微生物才能正常地生长、发育，生物量和生产力才能增大和提高。

再说农田生态系统的平衡，情况也同样如此。农作物在一定气温条件下，也是利用大气中二氧化碳，吸收土壤中水分和矿物养分，在叶绿素内不断地把太阳能转化为化学能，即转变为碳水化合物、蛋白质、脂肪等。一些牲畜靠这些农产品而生活，人类直接吃这些农产品或吃牲畜及其产品而生存。人类和动物的排泄物以及农作物残体（如茎、叶）经过微生物分解后变为矿物养分，又归还给农作物吸收利用。同时人们为增产还合理地施用无机肥料和有机肥料。因此，在农田生态系统中，物质不断地循环，太阳能不断转化为化学能。人类只有不断地维持这些成分之间的平衡，农作物才能正常生长发育，其生物量和生产力才能不断提高与发展。

上面我们简单介绍了自然界中森林生态系统和农田生态系统生态平衡的情况。对于其他类型的生态系统，比如草原生态系统，沙漠、荒漠生态系统，河流、湖泊、沼泽生态系统以及城市生态系统，乡村生态系统等情况，也同样如此。那么，究竟怎样定义生态平衡呢？所谓生态平衡，就是在某一特定条件下，适应环境的生物群体相互制约，使生物群体之间以及生物跟环境之间，维持着某种恒定状态，并且系统内在的调节机能遵循动态平衡的法则，使能量流动、物质循环和信息传递达到一种动态的相对稳定结构状态。或者简单地说，生

态系统内的各个环节(成分)彼此保持一定的平衡关系,称之为生态平衡。所以,在一个平衡的生态系统中,生物种类组成、种群数量、食物链营养结构等彼此协调、组合正常,能量和物质的输入跟输出大致相等,物质储存率相对恒定;信息传递畅通;环境质量也由于受到生物群落(特别是植物群落)影响而保持良好,从而使环境部分和生物群落部分达到高度相互适应、协调和统一状态。

生态平衡依赖于生态系统的一定结构、相应功能,以及信息控制和传递。生态系统的稳定性首先表现在系统结构的组成上,这是生态平衡的基础,也是生态系统进行物流和能流的通路。而生态系统结构和组成的稳定性又依赖于系统功能的正常,即能流和物流的输入跟输出基本相等。若输入大于输出,则系统内部物质库存量逐渐增加,生物量不断提高,生物种群及个体数量相应增加,从而使系统结构和组成发生变化,改变了原来的平衡状态;如果输入小于输出,则系统内物质库存量逐步减少,某些生物种群迁出或消亡,也会改变生态系统结构和组成,破坏原来的状态。生态系统的正常功能,除依赖于一定的结构以外,还依赖于信息控制和信息传递、环境系统在一定范围内的波动,以及生物系统能流和物流的变化等等。生态系统除了可在结构和功能上自我调节外,还能通过内在的信息传递进行自我调节和自我修复,从而维持整个系统的平衡。因此可以认为:环境系统和生物结构组成的稳定性是生态平衡的基础;能流和物流的收支基本相等是生态平衡不可缺少的条件。

讲到生态平衡,我们应特别注意下述三点:

① 生态平衡是动态的平衡而不是静态的状况,这主要考虑生物有生有死这一点就不难理解平衡的动态性质。一个系统由一定种类和数目的植物、动物、微生物组成,过了10年或5年以后,组成这个系统的生物种类和数量比例尽管还保持和先前一样,但个体早已不是原来的个体了,许多(或甚至全部)已是先前个体的后代,但平衡照样维持。

② 平衡存在于一定的范围,在此范围内,平衡能被保持,越出此范围,平衡就被破坏。在一定范围内,系统本身的调节作用能校正自然力量和人类所引起的许多不平衡现象。换句话说,生态系统内的调节作用是有限度的:在界限范围内,系统会有某种程度的自动调节能力;超出这些界限,调节就不能起作用,因而使系统受到改变、伤害以至破坏。

③ 对于任何一种生态系统,不论是人工的或天然的,不论其面积大小有多悬殊,性质怎样千差万别,只要达到生态平衡状态,它们就都符合一些共同的基本原则。总结起来,这些原则就是:

第一,任何一个稳定的生态系统,在受到内部或外部的扰动的情况下,必定有一个负反馈机制来减低扰动的力量,使得扰动不致破坏系统的稳定性。但生态系统的所有功能都有一个最高和最低的阈值,超过了阈限,这一功能就不能运转,该系统就要崩溃。

第二,稳定系统决不可能是无限制增长的。就生物群落讲,个体增加达到一定数目,就与环境形成一定的稳定关系。相对稳定意味着功能的正常和有效地运转。无限制增长意味着系统的崩溃。

第三,相对稳定的系统内,物质和能量是循环不已的,并且保持着连续输入跟输出趋于相等的水平,大体保持相对恒常的状态。植物同时进行光合作用和呼吸作用,以及蒸腾作用和水分养分的吸收作用,这些相辅相成的过程,就使植物生长正常发展下去。天然的稳定生态系统都可以保持这种循环过程,而人工栽培植物的生态系统就不一定如此。

子实和秸秆从农田中一起运走时,如果没有外来养分的补充,那么农田中作物的产量和品质将一代不如一代。为了使农田中农作物产量不断提高,就必须相应地投入肥料、农药等能源。一个良好的农业生态系统内部,多种网络的立体生产结构,有机废料的综合利用和重复、循环利用,也都符合这一基本原则。

第四,稳定的生态系统由于各个部分结合在一起而具有多种功能

和效益。对天然灾害和病虫侵袭来讲,多种混合群落比单种群落的抵抗能力要大。因为多种作物混杂栽培,可以增加天敌的虫源,提高抗病虫害的能力。综合措施也肯定比单一措施安全可靠,在病虫害防治中,综合措施已经证明比单纯使用杀虫剂更为有效。在自然界可以观察到两个生物体居住一起彼此互利,共同演化,发展到高程度的共栖现象。例如人和动物肠内的细菌,植物的菌根和根瘤,蚂蚁和蚜虫,都是一些说明共栖是它们各自生存的一个必要条件的事例。

第五,稳定的生态系统必须符合生物学、生态学的特性,如果把人考虑在内,还必须使人类能够在物质上、精神上健康地生活。违反这一条,这个系统肯定是不能稳定的。今天的科学水平,对许多生物学、生态学和生理学的特性了解还不深,并且,已经积累的知识在生产实践上运用也极不够,资源利用的浪费,长远利益和眼前利益的矛盾未能统一解决。现在开展的生态农场建设,农业生态系统的研究与建设,在符合生态学特性上,比起20世纪60年代宣传一时的绿色革命来说,是一个很大的进步;对整个农业的建设和发展来说,也是一件具有很大现实意义和深远历史意义的事情。

尊重自然规律,维持生态平衡

生态系统作为生物与环境条件互相制约的有机整体,它具有不同层次不同环节立体交叉的网络结构,它的物质循环和能量流动的动态平衡,是人类生产的自然基础。人们如果不尊重生态系统运动的规律,不顾及生态系统的动态平衡,如果为了直接的眼前利益,破坏了生态系统的某个环节、某个因素,打乱物质流动的正常进程,那么,这些变化就有可能通过网络系统发生连锁反应,积累到一定程度便会表现出整体效应和长期效应。这样,局部的“得”转化为全局的“失”,暂时的“得”转化为长期的“失”,或者此“得”彼“失”。人为的因素(对自然资源的不合理开发,环境污染等)是当前生态平衡遭到破

坏的主要原因,其结果必然会遭到大自然的惩罚。这种事例在人类历史上和当前国内外都是很多的。

例如在20世纪50年代后期,苏联在干旱多风的中亚大草原开垦处女地,由国家政府部门主持,调集大量技术装备,动员大量人力,迅速地把大面积草原垦为耕地,10年间开垦6000万公顷(相当9亿亩)。这对植被破坏得快,惩罚也来得快。头一二年收获还可以,几年后土质恶化,收获降低,20世纪60年代初黑风暴迭起,不断吞没耕地,摧毁作物。仅1963年的一次黑风暴就毁掉2000多万公顷农田,20多万公顷土地全被沙层覆盖,邻近地区城乡生态条件也进一步恶化。这次大开垦实际上是一场大破坏。

世界上不少沙漠是由于人类破坏森林和草原植被而引起的。因为森林和植被的破坏,使得历史形成的稳定的生态系统物质循环的一个重要层次、重要纽结被破坏了。水分循环的结构发生了变化,空气湿度降低,雨量减少,气候变异,出现了半干旱状态。不少地方在风蚀之下形成沙漠,并日益扩大。目前世界上有3000万平方千米(地球总面积的19%)处于沙漠化,对7亿人民的生活造成威胁,并继续以5～7万平方千米/年的速度扩展着。文献资料证明,世界上45个大沙漠,其形成原因87%是由于人类破坏植被等不合理的行为而引起的,是大自然对人类的一种严酷的惩罚。恩格斯在他的《自然辩证法》中明确指出了这种人为破坏植被给人类自己带来的恶果。他写道:“美索不达米亚、希腊、小亚细亚及其他各地的居民,为了想得到耕地,把森林都砍光了。但是他们梦想不到,这些地方今天竟成了荒芜不毛之地。因为他们使这些地方失去了森林,也失去了积聚和储存水分的中心。阿尔卑斯山的意大利人,在山南坡砍光了在北坡被十分细心地保护的松林,他们没有料到,这样一来,他们把他们区域里的高山畜牧业的基础给摧毁了;他们更没有料到他们这样做,竟使在一年中的大部分时间里山泉枯竭了,而雨季又使更加凶猛的

洪水倾泻到平原上。”(《马克思恩格斯选集》第3卷,517～518页)。

历史的教训很多,大自然的惩罚时有发生,但是这并没有促使人们完全清醒过来。人们不正确地干预生态系统,破坏生态平衡的事例仍在不断出现,结果遭到惩罚的只能是人类自己。当代最典型的一个事例就是埃及尼罗河生态系统的破坏及其造成的严重后果。

尼罗河发源于埃塞俄比亚,浩浩江水携带大量泥沙和养分,流经苏丹和埃及而入地中海,在埃及的河口形成宽约100千米的肥沃三角洲。长期以来,每年河水定期泛滥,平原上较低的河谷总被淹没一次,一方面带着含有机质的新土沉积起来,使三角洲始终保持着新生的肥力;另一方面河水冲洗了干旱地区土壤中的盐分带到地中海里,这既有利于三角洲的盐土改良,又促进了喜碱性水生浮游生物的繁殖,而浮游生物是海里鱼类的食料,因而就保证了沙丁鱼的产量,所以整个尼罗河流域,包括地中海在内的水、土、盐分、农田、浮游生物、鱼类等是互相联系着的一个生态系统,长期以来,系统保持一个良好的动态平衡。

埃及政府为了农业和工业现代化获得廉价的电力,1959年开始修筑阿斯旺水坝,1970年完工。水坝筑成以后,河水就不再泛滥,结果尼罗河水中的泥沙和养分就沉积到水坝内的水库坝底,从而尼罗河下游两岸农田就失去肥源,三角洲土地因没有每年河水洗盐,土壤盐渍化的威胁日益严重。同时地中海因缺乏大陆上盐分的来源,海水盐分降低,浮游生物减少,鱼类缺乏食料,以致近海的沙丁鱼捕获量由1965年水坝未建成前的1.5万吨,降到1968年底的500吨,水库完成后的1971年,几乎完全没有沙丁鱼了。另一方面,自水坝建成后,原来奔流不息的尼罗河下游就变成静止的湖泊,为病原体中间宿主的钉螺和疟蚊的繁殖提供了生活条件,以致水库一带居民的血吸虫病发病率达到80%～100%,疟疾患者也增多了。这一事例说明,一方面,埃及尼罗河流域由于阿斯旺水坝的建立,固然有利于农

业和工业的现代化;另一方面却破坏了尼罗河流域的生态平衡,造成了未预料到的一系列的自然界的惩罚。

上面我们引用了外国的事例,说明了大自然惩罚的生态过程。对我国来说,这种事例,大大小小,也是很多的。

大的如黄河流域生态系统的演变。古代的黄河流域是森林及草原地带,生态条件比较好,土地肥美,溪流清澈,风景宜人,农业发达,所以黄河流域才形成为中华民族的摇篮,哺育了我国灿烂的古代文化。但是由于几千年来人为的破坏干预,大量砍伐森林、破坏植被,扩大耕地,再加上兵乱战火,结果使得大面积的森林生态系统遭到破坏,导致了水循环、大气流动和外营力的改变,恶化了大范围的气候和地貌条件;又通过河流演变的客观规律,恶化了中下游广大地区自然环境,使得现在的西北、华北、中原地区森林覆盖面积很小,水旱灾害频繁,黄河泥沙量居世界各大河之首,被称为是害河。

小的如某个局部地区不重视森林、植被保护,造成生态平衡的破坏,引起严重后果。例如陕西榆林地区原来也是水草丰美的好地方。明朝成化九年(1473 年)开始屯垦,产粮戍边,经过 500 年的滥垦、滥牧的破坏,解放以前已成了 800 里沙滩,而且还在随风南移,日益扩大。河北坝上四县(张北、尚义、保康、沽源),原有草原 8 万公顷,现在只有 1.3 万公顷,牲畜头数大为减少。而开垦的农田,产量很低,一般产粮仅在 750 千米/公顷左右。而草原的开垦使生态恶化,大风和沙暴加剧,造成“农业吃草原,风沙吃农田”恶性循环的严重局面。

新中国成立以后,情况有所好转,党和政府在保护自然资源,保护环境和生态方面做了不少工作,采取了很多措施,如黄河上游的梯级开发,海河的综合治理,淮河的根治,三北防护林的营造,都有很大的成绩。但我们不能不承认,从大范围来看,在生态平衡和生态状况的保护方面我们做得还是不够的,生态状况在继续恶化,破坏生态平衡的现象还广泛存在,造成的后果也十分严重,这是我国人民面临的

有深远影响的问题。概括起来说,主要表现在以下的10个方面。

(1) 乱砍滥伐树木,重采轻造,采育失调,使森林资源遭到很大破坏

森林是有着复杂结构的生态系统,是大自然整个网络上的重要纽结,是保持广大地区生态平衡不可缺少的有机组成部分。森林的大量砍伐,必然会出现大面积的水土流失,河流含沙量增多,雨量减少,旱灾加重;降水变率增大,洪水得不到拦蓄,水灾增多。这是一连串的必然过程。同时给气象条件带来极不利的变化。这种大范围的自然条件的恶化,是自然灾害增多的最主要原因。如1982年四川特大洪水和泥石流灾害的发生,主要是由于川西森林砍伐的结果。1998年我国长江流域发生的特大洪水灾害,其主要原因之一就是长江上游森林的过度砍伐和破坏。

我国的森林资源本来就不丰富,不论是森林面积,还是木材积蓄量,就人均占有量来看都远低于世界平均水平,森林覆盖率也只有13.92%。森林如此之少,还得不到应有的保护,尤其在1958—1959年的所谓大跃进和1966—1976年的十年动乱期间,森林资源受到极大破坏。

森林的乱砍滥伐(以及草原的破坏),致使我国自然灾害显著增加,1950—1958年的9年中,全国平均每年受灾面积不到2000万公顷,而1972—1977年的6年中,平均每年的受灾面积达3300万公顷。森林的砍伐,植被的减少,使水土流失加剧,全国水土流失的面积,已由解放初期的115万平方千米,扩大到现在的150万平方千米,每年流失土壤50亿吨,损失氮、磷、钾的数量达数千万吨,我国海河水系流域,每年下泻入海的泥沙达1.4亿吨,黄河流域总面积为78万平方千米,每年下泻的泥沙达16亿吨。仅长江黄河两大水系冲刷的泥沙,至少相当于全国平均每年有40万公顷的肥沃土壤冲泻入海。由此可见我国水土流失的严重性。有的外国学者谈到黄河时说:“黄河流的不是泥沙,而是中华民族的血液。平均每年泥沙流量

达16亿吨，这已不是微血管破裂，而是主动脉出血。”

马克思早在1869年3月25日给恩格斯的信中就指出：“……文明，如果它是自发的发展，而不是自觉的，则留给自己的只是荒漠。”（马克思、恩格斯信札选，俄文版1948年第202页）。这些警言对于人类合理利用自然资源、保护自然资源有着深远的意义。

（2）滥垦草原，过度放牧，草原资源受到破坏

草原生态系统与森林相比不那么复杂，因此自我调节能力比较弱。草原植被和食物链结构，是经过长期自然选择和适应历史过程而形成的，人们只能根据草原的这种自然条件，尊重它的历史特点，因地制宜地加以利用。但是长期以来，我们只是片面地抓粮食生产，不惜变草场为耕地，加速了草原的沙化，而未垦的草原又缺乏科学管理，过度放牧，使草原质量降低，促使草原退化。

我国温带草原有106.7万平方千米，约占国土面积的1/9，是我国畜牧业的基地。但不少地区出现大面积草原退化的严重现象，生产力不断降低。究其原因，一是过度放牧，二是原始森林越来越少，而使得原来与森林接壤的地区，干旱季节延长，山泉干涸，牧草得不到灌溉，变成了干旱草原，甚至碱化。例如面积为730万公顷的呼伦贝尔大草原，有1/3发生了退化，严重退化的面积达80万公顷。

我国东北、华北、西北地区开垦草原的速度极快，在草原上开荒，常常是“一两年收点粮，三四年成沙梁”；或者是“开垦一亩粮田，沙化三亩草原”。如青海1959年沙化面积为6000公顷，现在则达到7.9万公顷，面积扩大了23％。

盲目开垦，破坏植被，都加剧了大面积的土地沙化。据统计，全国沙漠的面积，20世纪50年代为1.07亿公顷，现已扩大到1.27亿公顷，在北方万里风沙线上，平均每年沙化面积达133万公顷。土地沙化的趋势如果不加控制，一旦变成流沙，要再改变回来，其自然恢复过程十分缓慢，要采取人为措施，就需付出更大的代价，至少也要50～100年的时间。从各地的情况表明，我国北方土地沙漠化的主

要原因是人为不合理的活动造成的,约有85%的沙漠化面积是滥垦、滥伐和滥牧的结果。

现代化的农业应该是农牧林渔有机结合、全面发展的大农业,牧业是其中重要的组成部分。因此,合理利用和建设草原,建立起草原系统新的生态平衡,是农业现代化的一项重要任务。

(3)无限制地围湖造田,急剧缩小了内陆水面,使生态系统有机体的数量急剧减少,给水产事业和整个环境带来恶果

我国的天然湖泊总面积为8万平方千米,其中淡水湖泊面积为3.6万平方千米,还有大小水库8万余座。这些水体是重要的自然资源,也是我国国土上广大生态系统的重要组成部分。这些湖泊分布在大小江河沿岸,能够蓄纳洪水,调节气候,调节河水流量,是大自然水分循环中的稳定性环节。但长期以来,忽视水面在生态系统中的作用,不是因地制宜去利用湖泊发展水产养殖业,而是强调向湖泊要粮,与水争地,围湖造田成风。从表面看,确实增加了耕地,似乎有所得,但从整个生态系统和生产的全面发展来看,所失更大,完全是得不偿失。

第一,围湖削减了湖泊调节江河水量的作用,洪水灾害会因此增加,不仅当地受害,下游也会被连累。例如江汉湖群由于围垦减少了30亿立方米的调整湖容,因而水灾频繁。

第二,湖泊调节气候的功能受到削弱。20世纪70年代以来,长江中下游连续出现-20℃~-15℃的低温和40℃~42℃的高温,这与水体的减少大有关系。

第三,水产生产受到打击,减少经济效益。有名的洪湖,解放前有8万公顷水面,现在只剩下一半,鲜鱼产量从50年代的750万千克,降为1979年的230万千克,比历史最高产量减少77%。菱角、芡实、芦苇濒于绝迹。我国淡水鱼天然捕捞量,50年代是60多万吨/年,60年代是40万吨/年,70年代为30万吨/年,减少了一半,许多河湖已经鱼虾绝迹。

第四,围垦地区的地势低洼易涝,必须具有一定的排水系统,而这对于原来是湖盆的低地来说是很难做到的。因此,必须主要依靠机械排水,耗用较多资金,一旦机械排水力量不足,就可能发生水涝灾害。

湖泊是水生生态系统的基础,又是大范围生态系统的一个层次,它虽然不生产粮食,但有利于粮食生产,并有粮食生产所不能代替的作用。我们应该在普遍联系的自然网络中认识它的意义,保护它,利用它。

(4) 农田灌溉忽视排水,灌区排水系统不配套,排灌脱节,加剧了土壤次生盐碱化

地表水、地下水、盐分,都是生态环境的重要因子。它们按照一定的规律在生态系统中运动,盐溶于水,因此在土壤中盐随水来,盐随水去。当地下水位升高,水分靠毛细管作用上升到表层土壤,溶解在水中的盐分也就随水升到地表。在旱季,蒸发强烈,水分源源不断上升,盐也不断上升,水分蒸发后盐分就富集在表土层,造成土壤次生盐碱化,打破了各种物质成分在生态系统中流动的正常比例,作物不能适应这种条件,生态平衡被打破,给农业生产造成很大危害。因此,大面积灌溉工程必须辅以完整的排水系统,以防止地下水位升高,保持盐水运动的平衡。而过去,我们往往只注意水分在农作物和环境之间的循环,而忽视了与这个过程相互作用的地表水、地下水、盐分的运动规律,只抓灌溉工程,忽视排水工程,排灌脱节,结果广泛发生次生盐碱化现象。

近年仅就 17 个省市统计,就有近 666.7 万公顷耕地不同程度地存在着盐碱化现象。这些土地大都分布在交通方便、人口稠密的地区,如黄河中下游、海河流域、淮河流域、辽河下游等,都是重要的农业地区。因此,研究治理盐碱地,对于粮食增产、农业发展有着深远的影响。

水利工程的修建,既要抓主体工程,又要抓配套工程。这虽然要

增加一时的投资,但从长远看可以避免土壤的次生盐碱化,因此这是必要的。

(5)在农村能源的供给和利用上,一方面能源供给严重不足;另一方面又大量浪费,特别是农民生活燃料奇缺,给农业生产的发展带来很大困难

据统计,全国有8000万农户每年缺少3～6个月燃料,为此而烧秸秆达4.2亿吨,木材7000多万立方米,其热能的利用率仅10%。这不仅污染了环境,而且造成有机质不能还田,相当于每年损失600万吨磷肥和600万吨尿素。造成土壤肥力衰退,农业增产不得不靠大量施用化肥,这又进一步造成了土壤板结,生态状况的恶化。而有的地区,为了解决农村燃料,不惜破坏林草植被,又促成了水土流失的加剧。因此农村能源不解决,不仅发展生产不可能,而且“植树造林、绿化祖国”也将是一句空话。

(6)化肥使用量过大,施用又极不合理

目前我国农村的一个普遍倾向是化肥使用量越来越大。以北京郊区农村为例,自1962年以来,化肥使用量增加了8～14倍,大量化肥的使用,就已观察到的,带来了三个问题:一是能耗增加。研究表明,农业的主要耗能在造肥而不在农业机具。发达国家用于化肥生产的耗能占农业总耗能的35%左右,而发展中国家则占64%。例如美国生产化肥耗能占农业总耗能的34%,我国北京市大兴区则占到72%之多,由此可见,化肥占用了农业用能的大部分。二是环境污染。农业使用的化肥,只有30%左右为植物所利用,其余则进入地下水或地表水或挥发损失。北京郊区已有两个地区发生了硝酸盐中毒事件,显然这是由于化肥污染了地下水所致。三是生态状况受到破坏,土地资源受到损害。化肥不仅使用量大,而且施用很不合理。我国几种主要农作物吸收氮、磷、钾的比例为3∶1∶2,而我国实际生产和使用的比例为3∶0.6∶微量。这一方面造成了能耗的增加,因为磷肥的生产要比氮肥省能得多,平均每吨磷肥要比氮肥少耗能60%左右。另一方面,

由于磷肥使用得少,使总的肥效只有10%左右。

(7)在较长一段时期内,片面执行了“以粮为纲”的方针,单纯追求粮食产量,致使生产结构单一,造成土壤物质循环中营养元素比例失调,单一作物的种植从土地中拿走的多,还给的少。

例如山东省科技情报所的计算表明,山东省1977年比1956年减少大豆种植面积133.3万公顷,大牲畜减少630万头,因而每年减少生物固氮提供的蛋白质为1.65×10^5吨,1977年使用了63万吨化肥还补偿不了这一损失。

同时由于单一种植粮食作物,使得作物病害虫获得了有利的生存条件,使害虫的品种和种群数量大为增加,这就又促使农药用量的增加,进一步污染了农业环境,造成生态系统的破坏。

(8)工业生产排放废水、废气、废渣,农田滥施农药,造成严重的环境污染,有毒物质进入食物链,给生态系统带来危害,已直接威胁到人民的健康和生活。

据不完全统计,目前全国每天排放工业和生活废水量达1亿吨,排放废气量达99亿立方米,全年排放废渣量达4.5亿吨。

我们知道,大气、土壤、水体、生物,是人类生活和生产活动的物质环境,生活与生产都是跟环境进行物质与能量交换的过程。有害物质在环境中积累,生态条件恶化,人类就会破坏自己的生活和生产的基础。今天环境的严重污染已直接威胁到我国人民的生活和生产。

30年来,全国癌症死亡率增长1.45倍,癌症死亡人数在死亡因素中从第9位上升到第2位,显然这与环境中致癌物质增长有密切关系。我国有一城市,1977年检测人体中“666”含量,每千克体重含量达9.25毫克,是日本的3.7倍,印度的5倍,美国的160倍。

环境污染的危害是全局性、长期性的,后果很难消除。但是人们往往忽视了这一点。这里我们要特别强调指出当前乡镇企业的发展给农村环境、农田生态系统造成的严重污染。不少地区为了片面追

求经济效益,不顾条件的可能性,不顾后果的严重性,盲目发展一些所谓有经济效益的重污染行业,因而造成大片大片的田园被污染。城市的污染也在向农村转移,这是十分危险的倾向。目前我国经济还不富裕,还不可能拿出大量经费用于治理农村的环境污染,因此,就要求我们要特别注意农村环境保护。对于乡镇企业的发展,特别是重污染的电镀、造纸、皮革加工等,更要慎重。我们的眼光不能只局限于工厂内,不能光看到利润,还要看到生态系统的整体,要算整个社会的益损账,要算整个生态系统的益损账。不符合社会、人民的根本利益、长远利益的作法,是我们的社会主义制度所不能允许的。

(9) 水资源的不合理开采与使用,开始出现危机

水是依靠太阳、植被、土壤与河流、湖沼等环境因子而循环的。地表水、地下水是水循环整体中的统一体。植被条件的改变、气候的影响、局部地区径流的变化、河流的改道、地下水位的变化,以及工业及生活用水的合理与否,都将对水资源产生很大的影响。

我国水资源总量全国年径流量约2.6～2.87万亿立方米,地下水约有7000亿立方米,地面水和地下水相互转化,两者之间有所重复。若按人口平均计算,每人的年径流量约为2700立方米,是世界平均值的1/4,只及世界主要工业国的1/2～1/6。我国冰川与永久积雪的总面积为4.4万平方千米,总储水量约2.3万亿立方米,但目前尚无力开发利用。我国水资源的分布也很不均匀,属干旱、半干旱地区的华北和西北地区约占全国耕地面积的50%以上,但径流量不及全国总量的10% 。长江流域及其以南地区占全国耕地面积的30%,而径流量占全国总量的75%。我国还有2700万公顷盐碱地,1.7亿公顷的干旱和半干旱土地有赖于水才能得到改造。因此,不能笼统说我国水资源丰富。况且在一定地域范围内可用水的水质与水量是有限度的,不考虑水同其他环境因子之间的相互关系,则在水的利用上肯定会出问题。长期以来,我们在这方面是注意不够的。特别是在工业布局和城市发展规划中,只考虑需求,而缺少按资源量

情况制定统一的使用计划，没有严格限制超量使用。用水基本上处于自流状态，任意开采，开发利用缺乏统一的管理，过量的开采已使地下水位急剧降低。20世纪50年代打井深度为90米，70年代已深达180米，单井出水量急剧减少，地下水位大幅度下降，多者每年下降3～4米。有的城市由于地下水过度亏损，引起地面沉陷，而不得不花费大量的能源，采用人工回灌的办法来控制地面下沉，回灌的水质不洁又造成地下水的污染。

对于地表水的开发利用也不合理，特别是污染严重。城市污水的处理和利用，缺乏统一管理，全国每天排放的1亿吨污水，基本上不加处理就排放于自然界。1979年全国有毒物质污染的河流有850多条，其中严重污染的有230多条，不少河流、湖沼的水已不能使用。地下水的污染也极其严重，有的城市全城无净水，严重影响了生活和生产。有的城市不得不采取引水工程来解决用水问题，这不仅大量耗费人力、财力、能源，而且引水工程的沿线又将造成地下水位上升，引起土壤盐碱化和河道淤塞等一系列问题。

因此，合理开发、利用水资源，节约水资源，已成为我国需要迫切认真研究解决的大问题。千万不要忘记：一个国家的水资源情况将制约这个国家的发展。

(10) 人口增长速度过快

1972年，罗马俱乐部这个以研究发展战略而闻名的国际学术性组织，发表了它成立后的第一篇报告《增长的极限》(*The Limits of Growth*)，报告中提出了当前人类所面临的困境，可以概括为五个问题，其中第一个就是人口急剧增长。报告指出，人口的急剧增长，已给我们背上了沉重的负担，如果不采取紧急措施加以控制，那么，地球这个行星上的人口，将在100年内达到极限，其结果将是人口和工业生产力突然的和不可控制的衰退。

一个国家的人口，总是在一定的复杂社会结构、自然资源条件、科学技术和文化水平等条件下发展起来的。它已不是一个单纯的社

会学问题,而是涉及到整个国家发展、生存的大问题,是一个社会生态平衡的关键问题。可是长期以来,我们对这一问题缺乏必要的正确认识,政策上、行动上没有采取及时的措施,以致人口发展速度过快,给自己背上了沉重的包袱。

而人口增加必然要引起资源的巨大耗费和破坏,也必然要使环境污染加剧,生态状况进一步破坏。

30多年来,我们已取得了教训,但是也付出了沉重的代价。控制人口,做到有计划的增长,无疑是实现四个现代化的当务之急。

上面我们从10个方面介绍了我国在生态平衡方面所在存在的问题。显然,提出这些问题,决不是说我国的生态状况已到了不可收拾的地步,而不能实现社会主义经济的全面高涨。相反,提出这些问题,认清生态平衡失调,正是为了促进社会主义经济的全面高涨,正是为了保证子孙后代的长远利益,正是为了响应党中央关于保持生态平衡、实现环境与经济协调发展的号召。

我们生活于生态系统之中,改造自然的过程,必然是对生态系统的干预。这个基本事实要求我们,对任何生产活动都要放在生态系统物质循环和能量流动的普遍联系之中,放在立体交叉的生态网络之中,放在生态平衡过程中加以考察,尊重生态系统的辩证特点。不仅要重视生产活动的直接效益,局部和当前利益,更要重视它在生态系统这个有机整体中可能引起的整体效应,要重视它通过网络结构的连锁反应引起的长远效应。也就是说,要科学地处理好局部利益和整体利益,眼前利益和长远利益的关系。当前要特别处理好保护和开发,利用和改造的关系。要认识到“保护”的目的正是为了更好地“开发”;不合理地“开发”,就会破坏生态平衡,招致大自然的惩罚。根据生态规律合理利用我国的土地、水面、山地、草原等自然资源,做到既保护环境、生态,又做到地尽其利,人尽其力,为祖国的四化做出应有的贡献。

2.4 什么是生态农业系统

生态农业及其基本特征

生态农业必须合乎下列这样一些最基本的生态学要求：第一，生产结构的确定、产品布局的安排等都必须切实做到因地制宜，跟当地的环境条件相匹配；第二，在能量和物质的利用上，要做到有取有补，维持生态平衡；第三，在利用可更新资源时，不可超过其可更新程度，同时要注意抚育和增殖自然资源，使整个生产的发展，走向良性循环；第四，对不可更新资源的利用，应减少到最低限度。

生态农业是全面规划、相互协调的整体农业。生态农业的出发点和落脚点，都是着眼于系统的整体功能。而衡量整体功能的标准，最重要的有三条：一是经济效益，即生产要发展，农民要富裕；二是社会效益，要满足人民对农产品日益增长的各种社会需求；三是生态效益，即保持良好的生态环境。生态农业，要考虑系统之内全部资源的合理利用，对人力资源、土地资源、生物资源和其他自然资源等，进行全面规划，统筹兼顾，因地制宜，合理布局，并不断优化其结构，使其相互协调，协同发展，从而提高系统的整体功能。

生态农业是广义农业的具体体现。它和狭义农业（或称小农业）的区别主要有三点：其一，从生产内容上讲，它不局限于种植业，而是农、林、牧、副、渔多种经营，全面发展；其二，从生产地域上讲，它不局限于耕地，一方面立足耕地，努力提高单产，另一方面把全部国土，包括山地、水面都当作自己的生产场所；其三，从食物的概念上看，它依靠粮食，但又不局限于粮食，而是建立在营养科学的基础上，根据人体营养需要的热能（糖类、脂肪等）、蛋白质、多种维生素和各种矿物质的数量和比例，科学地安排和计划农业生产。

从某种意义上讲,生态农业是传统的有机农业和现代的无机农业相结合的综合体,是能量流动和物质循环不断扩大的良性循环农业。

生态农业是一个高效的人工生态系统,是结构与功能协调的高效农业。它不同于自然生态系统,加进了人的劳动和干预,因而不只是单纯的自然再生产过程,同时也是个经济再生产过程,二者结合,从而能够以较少的投入得到较大的产出,取得较好的经济效益、社会效益和生态效益。

生态农业作为一个人工生态系统,是一个统一的有机体整体。就其性质来说,具有下列四个基本特征:

(1)生物产量高

要想使单位面积上的生物产量高,就必须使物种和品种因地制宜,而且要使本身的转化效率高,彼此之间结构合理、相互协调。

(2)光合作用产物利用合理

这就要求生产的发展按照生态学的“食物链”规律及其量比关系做到能流物复,提高绿色植物光合产物的利用率,从而得到更多的产出。

(3)经济效益高

物质除沿着“食物链”进行多次利用外,还要沿着“加工链”(农副产品多次加工的顺序),进行深度加工,多次增值。加工的次数越多,产值越大,流回系统的财流也就越大,生态效益和经济效益也就越好。

(4)动态平衡最佳

生态农业所保持的生态平衡,是螺旋形向前发展的最佳动态平衡。

什么是生态农业系统

所谓生态农业系统,就是以生态学理论为依据,在一定的区域范

围内建立起来的农业生产系统。它由所有生活在该区域内的生物群落与其所在周围环境组成,是进行生态农业建设和研究的基本单位。

生态农业系统就其实质来讲,是人们利用生物措施和工程措施不断提高太阳能的固定率和利用率、生物能的转化率以获取一系列的社会必需的生活与生产资料的人工生态系统。它和自然生态系统一样,不断跟环境交换能量与物质,并在内部流通转化,从而使系统的功能和结构保持稳定,同时在其内部形成复杂的反馈关系。但是在生态农业系统的能量流动和物质循环中,人是处于核心位置的,人有着很大的主观能动性,在不超越生态系统客观规律的情况下,可以能动地利用和改造生态系统。

由于生态农业系统研究的主要对象也是植物(作物、林木等)与动物(家畜、家禽等),也是在一定的自然环境(气候、土壤等)制约下进行的,因此,它与自然生态系统有着密切的关联与许多相似之处。自然生态系统的一系列法则依然在生态农业系统中起作用,自然生态系统的一系列研究成果(包括概念、方法、演变规律等),对于生态农业系统的研究来说具有重要的参考价值。但是也应看到,生态农业系统毕竟是一种人工生态系统,因而具有它自己的特点,跟自然生态系统有着显著的差异,主要表现在下述四点:

① 群落结构不同。在自然生态系统中,初级生产者一般总是由多种绿色植物构成,空间层次结构明显,而消费者的营养层次也较多,种类丰富,从而形成多条食物链,构成的食物网也十分复杂;在生态农业系统中,生产者层次不多,大多由一种或几种农林作物构成,群落结构较自然生态系统单纯得多。

② 生态系统的时间和空间存在形式不同。自然生态系统通常是连续的;而生态农业系统则是以特定作用的生产为目的,其发展方向是要生产人类所需要的农、林、牧、副、渔产品,因此就必须人为地阻止自然变迁、演变的发生。

③ 生态系统的物质循环不同。虽然自然生态系统也不是完全

封闭的,但在生产者、消费者、分解者各营养阶层间有一定的平衡,物质循环多少是自我完善的,也就是所谓自我施肥系统。与此相反,生态农业系统随着农畜产品的出售,一部分营养物质流出系统之外,损失的部分必须人为地加以补充,以此维持生态平衡。

④ 与经济的关系不同。农业是人类社会的一种生产活动,不仅受到自然生态规律的支配,也必然受到社会经济规律的支配。因此,和自然生态系统不一样,生态农业系统决不能与经济相割裂,经济因素是整个生态农业系统中必不可少的十分重要的环节。因此,有些学者认为,生态农业系统更确切的概念应该是"农业生态经济系统"。

生态农业系统有它自己独特的总体结构,可以简单地用图 2-3 来说明。

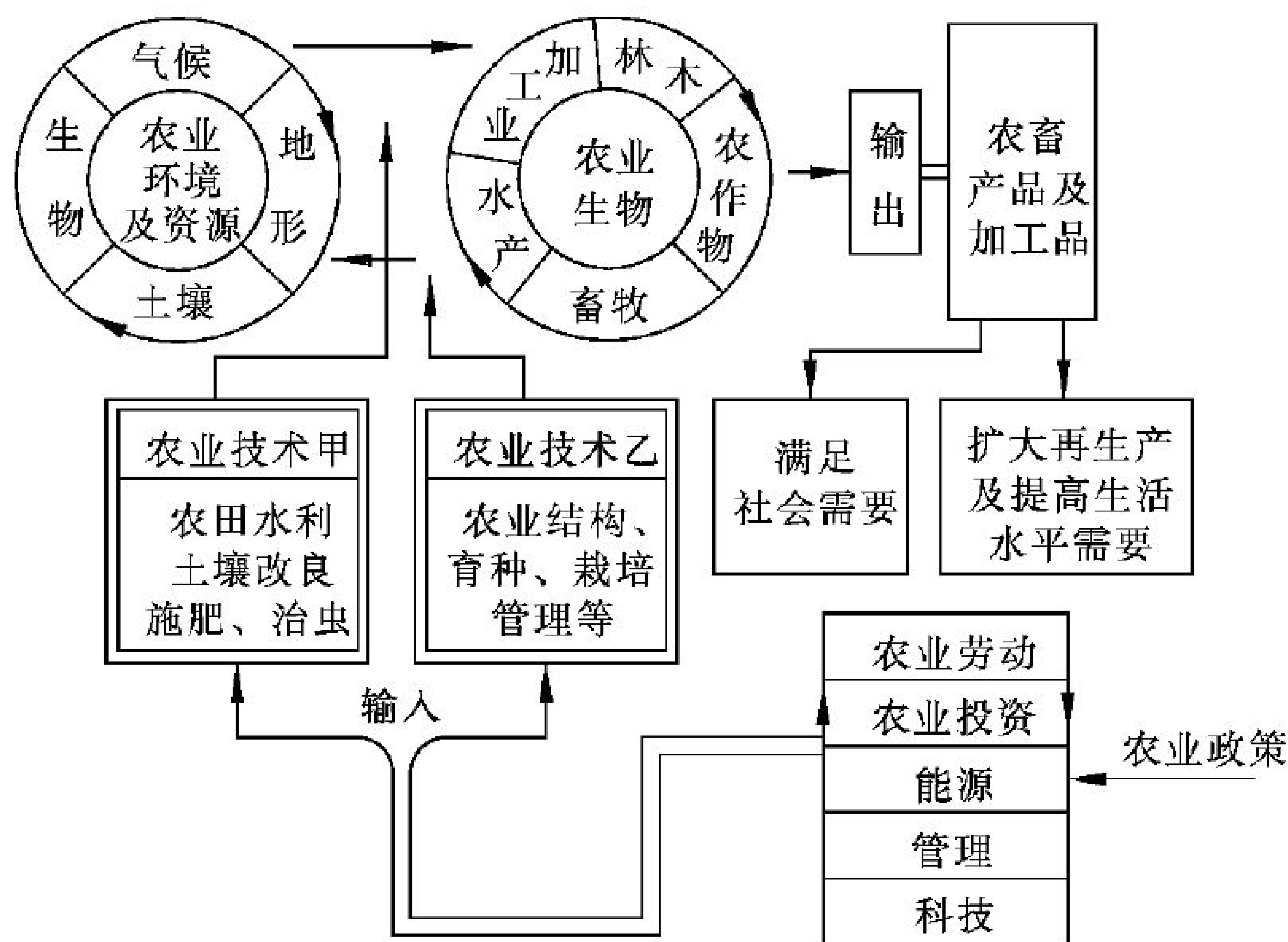


图 2-3　生态农业系统总体结构

由图 2-3 可以看出:

① 生态农业系统的总体结构中,最重要的组成部分共有五项:农业环境、农业生物、农业技术、农业输入、农业产品(农业输出)。

② 农业环境与农业生物是生态农业系统中的两个基本方面，而且两者之间的关系十分密切。这是因为农业生产是需要一定的生态环境的，生态环境及其结构与功能的好坏，直接制约着农业生产水平的高低和能否健康地发展。而农业技术则是调节这两者之间矛盾的手段。

③ 实施农业技术，必须有一定的劳动与资本的输入、工业的支援、农业科学知识和教育的普及，以及农业的经营管理等，而这一切又受到农业政策深刻的影响。农业输入体现了人的能动作用，是生态农业系统中最积极因素。

在农业输入与输出的关系上，要求有较高的经济效果，既要考虑到农业的劳动生产率、投资利润率、商品生产率、农业生产者的经济收入，以及国家从农业取得的直接和间接的财政收入等。经济效果在生态农业系统中起着重要的支配作用，只有系统的经济效果不断提高，才能保证集体和个人收入的提高，并使国民经济收入增加较快，才能使农业生产得到更快的发展。

因此，要在农业生产中获得成功，保证农业生产的持续、稳定的发展，就必须对生态农业系统有一个全面深刻的理解，熟悉其总体结构，掌握其客观规律，分析其内外矛盾，从而选择最佳的系统设计（最佳的生产结构、产品布局、农业技术等），以取得最好的农业生产效果与经济效果，使农业生产获得稳定的发展。为此，又必须对生态农业系统的基本特点有所了解，才能达到最佳系统设计之目的。

2.5 生态农业系统的基本特点

生态农业系统作为一种人工生态系统，有它自己的特点。这些特点就是因地制宜性、综合性、稳定性、社会性和选择性。

因地制宜性

农业跟其他国民经济部门相比最大的差异就是,农业是自然再生产过程和经济再生产过程相互交错的范畴。农业种植的作物、畜牧业饲养的牲畜、林业栽种的树木、水产业养殖的鱼类等等都是生物,都有它们本身的生长规律,都受到自然条件的一定限制。因此,农业这个生产部门要特别讲究尊重自然规律和社会经济规律。而生态农业系统正是建立在合理和充分利用当地自然条件和自然资源的基础之上的。在不同的地带或地区,都具有不同的自然环境,因此决定了输入到生态农业系统中的光、热、水、气、营养元素等能量与物质的差异。这就是生态农业系统必须因地制宜的根本理论依据。

社会经济条件也同样有地域和地区差异,各省、地、县都有不同的社会历史、经济条件、科技发展水平、民族构成、风俗习惯等等。因此,各地区向生态农业系统提供的劳动力、补充能量和科学技术等都不尽相同。只有对一个地区的这些特性进行全面的调查和分析以后,才能建立起最佳的生态农业系统。因此,生态农业系统的设计与建立,不可能存在一个到处都可通用的模式。所以,指导农业生产,规划生态农业系统的建设,就必须根据不同地区的特点采取不同的措施和方法。

综　合　性

我们所说的综合性具有下述四层含义:

① 生态农业系统是一个多因子、多层次的综合体,其结构和功能都十分复杂。不仅生产的内容不同,采取的措施多种多样,而且自然条件同人为活动的关系也十分复杂。这就要求我们把整个系统的生产和活动当作一个整体,综合分析各种因素并予以全面考虑,采取

一系列的对策和措施。忽略了某一方面,都会对整个系统产生不利的影响。

② 采取生产措施、技术措施也必须要综合考虑。如果片面强调某种措施或者忽略了某种措施,都将对生产产生不利影响。例如兴修水利,修建水库,不仅要考虑工程措施,而且要考虑生物措施,栽种树木,保护水源,防止水土流失。否则,水利的工程措施再好,也不能保证发挥正常效益。在这方面,我们的经验和教训是不少的。

③ 在生产发展和生态状况的改善问题上,也必须综合考虑。生产的发展绝不能建立在对自然资源的过度利用,破坏生态环境的基础上;反之,也不能片面强调生态环境的保护而影响了生产的发展。只有这样,才能既发展生产,提高经济效益,又能净化环境,保持和改善生态平衡。

④ 农业生产的发展,决不能仅从农业一个部门来考虑,而必须联系到加工工业、运输条件、市场需要与竞争能力等工、交、商几个方面问题,不能脱离现实。要综合考虑到需要与可能、当前与长远、局部与整体之间的关系。综合考虑到自然条件的适合性,技术条件的可行性和经济条件的合理性。

稳　定　性

生态农业系统的稳定性,除表示系统的生产力不易受外界因素变动而频繁变化以外,还包含营养物质与能量平衡的动态稳定以及系统产出经济效益稳定增长两层含义。

营养物质在整个生态系统中的流动是一密闭的循环运动,在任何情况下都不会减少或增加。而对于一定范围的生态农业系统来说,则不可能是密闭的循环,它既有投入又有产出,还有系统内部的循环。所以,系统的生态平衡不可能是静止的,关键是要尽量减少对

系统外部营养物质的需要,通过系统内部的综合利用和物质循环利用,使营养物质的投入产出尽可能维持在一个较好的动平衡状态。

能量在整个生态系统或生态农业系统内,都是由太阳向消费者单向流失的过程。但在流失的主导过程中,还有一部分被还原物质(主要是微生物)再生循环利用,例如农业废弃物通过微生物发酵产生沼气,就是能量利用的一种很好方式。因此,在尽量从太阳获得并固定能量的同时,应发展生物能的再生利用,使能量在系统中维持一个高水平的输入和输出的动态稳定。

经济效益的稳定增长是指在对营养物质和能量的动态平衡计算的基础上,对多目标的投入、产出和循环进行成本效益分析,得出经济最优化模型,以求得系统内农、林、牧、副、渔及其加工业的不断发展,产值不断提高。

怎样才能保证系统的稳定?一般说来,生态农业系统的稳定程度,主要取决于系统结构的复杂程度,以及系统内食物链的多少和长短。生产结构越复杂,食物链越多,则系统越稳定。如果一个农业生产系统的生产结构十分单一,比如只有种植业(或只有饲养业),系统就不可能很稳定,一遇天灾,病虫害(或传染病),系统的产出就要受到影响。若系统的结构比较复杂,食物链较多,那么,局部的变化就不致对整个系统产生很大的影响。

社　会　性

生态农业系统是一种在人为活动下形成的社会—经济—自然复合的生态系统。这种特殊的人工生态系统,变化频繁,能量和物质均有大量的输入与输出,如果经营管理不当,系统就会崩溃。也就是说,人们可以建设生态农业系统,但是也可破坏它。例如:人类的生产活动如灌溉、排水、施肥可以影响土壤;农药防治病虫害、除草剂消除杂草可以影响作物以外的生物种群;收获、运输、产品加工等可能

影响产品的再分配等等，这些都是人为因素对生态农业系统的影响。

此外，不同的社会制度、社会经济条件和文化科学水平，都会对生态农业系统的建设和经营管理产生深刻的影响。因此，生态农业系统必须包括人类活动和社会经济条件。这是生态农业系统社会性的又一表现。

再者，任何一个生态农业系统，在一个地区内都不是孤立存在的。它跟左邻右舍，甚至跟地理上不相邻接而在经济上有所联系的地区，都存在着千丝万缕的联系。所以，一个生态农业系统的规划和建设，除了考虑本系统的情况以外，还必须广泛了解区际关系，重视区际协作。这也是生态农业系统社会性的一个表现。有些地区，由于忽视了这一点，虽有先进的农业技术措施，也很难实现高产、优质、低耗的目的。

选 择 性

生态农业系统内在矛盾很多，要分清主次，明确缓急，选择适宜的措施，适当的对策加以解决。如果选择不当，就会产生相反的效果。例如，系统内部的能量流和物质流是按照一定的次序流通、循环的，决不能颠倒。如我们常说的“水多、草多，草多、虫多，虫多、鱼多”，这是符合实际情况的，是正确的；而另外一种提法，即“猪多、肥多，肥多、粮多”，就不对了，因果的次序就颠倒了，因为在这里粮食是第一性的生产，如果没有足够的第一性生产量，是不可能有“猪多”的出现。正确的提法应该是“粮多、猪多，猪多、肥多，粮更多”。因此，在农业生产中，应该搞清楚物质和能量流动的客观规律和流动次序，方能决定先抓什么，后抓什么。只有先抓第一性的生产，才能为第二性生产开拓途径。

上面我们概述了生态农业的一般特点。但是我国的生态农业却有自身的特点。它是在环境与经济协调发展的思想指导下，遵循可

持续发展要求,在总结和吸取了各种农业生产实践,特别是中国传统有机农业的成功经验的基础上,应用现代科学技术方法所建立和发展起来的一种多层次、多功能的综合农业生产体系。因此自身又具有下述五个特点。

(1) 全面规划,整体协调

我国的生态农业是一种全面规划,种植业、养殖业、加工业合理配置的“大农业”模式。注意农、林、牧、副、渔等各业全面发展,农、工、商综合经营,农业内部各部门之间协调平衡,实行多种经营。所以,我国生态农业建设主要内容之一就是调整产业结构,从单一的农业范畴发展为由多业组成的综合性经济实体。

(2) 重视三个效益的统一

我国的生态农业建设是在农业从自给经济向商品生产转变的过程中发展起来的。它的根本任务在于提高农业生产力,发展农村经济,帮助农民致富,逐步实现农业现代化。但是,我国由于农村经济较薄弱,不少地区仍为贫困状态,农村的科技水平还很落后,因此不可能、也没有条件像有些西方国家发展生态农业那样把重点放在环境效益的提高上,而是要在保护生态环境的前提下,提高劳动生产率,充分而合理地利用自然资源,发展商品生产,以达到经济效益、环境效益和社会效益的统一。

(3) 重视科学技术的应用

在吸收我国传统有机农业精华的基础上,尽可能应用现代科学技术成果,不排除化肥、农药的使用,而是更注重如何合理地使用化学产品,以取得最佳的效益。实践证明,这样做是十分有效的。我国不少地区,在人均耕地不足 0.06 公顷(即 0.9 亩)的情况下,创造出丰衣足食的奇迹。其中生态工程技术的应用以及生态工程建设的开展起着重要作用。

(4) 强调资源的合理利用和农业废弃物的综合利用

我国在生态农业建设过程中,十分重视资源的合理利用和保护,

以及农业废弃物的综合利用。一方面,注重系统内部能量和物质的合理流动与转化,另一方面,依靠现代科学技术,有效利用生态系统内部食物链网络,以及对农业废弃物的再生和综合利用,以弥补资源的相对不足。这样在变废为宝、节约资源的同时,又改善了农村生态环境。这既符合我国当前农村的发展情况,又形成了我国生态农业的一大特色。

(5) 自力更生,滚动式发展

我国是一个发展中国家,经济基础薄弱,国家不可能拿出大量资金来支持生态农业的建设。农民只能依靠自力更生,依靠自身的发展和积累,不断滚动发展。而国家则应在技术和政策上给以支持和照顾。因此,我国各地在生态农业建设过程中,都注意发展资金投入少、产品成本低、技术简单实用的产品生产,而通过不断积累,向生态农业的深层次发展。所以当前我国的生态农业又具有投资少、收效大、易于推广的特点。

2.6 生态农业系统建设的基本原则

生态农业系统最基本的特点之一是因地制宜性,因此,生态农业系统的建设不可能有普遍通用的模式。尽管如此,但对有些基本原则而言,在任何一个地区或任何一种生态农业系统建设过程中,都应该尽可能遵循。下面简要讨论七个基本原则。

(1) 生态农业系统必须具有较高的自给能力,其中包括所需能源的自给

我们知道,跟现代农业系统相比,天然的生态系统是能够相对自给的。但在营养和其他一些要素的自给程度上却有所不同。国外的研究表明,天然的生态系统能获得净氮的增加,而钙、钾、钠和镁却要损失,可溶性磷酸盐也要有较大的损失。而生态农业系统的建设,则是要求将这种损失降至最低。其方法是通过将农业废弃物和人畜粪

尿进行综合利用和循环使用,而不是像石油农业那样通过大量施用化肥来加以补充。

尽可能地做到能源自给,这对于生态农业建设来说是十分重要的。研究资料表明,日本高输入的农业能量投入与产出比为4∶1,英国为6∶1,美国的情况更为糟糕,其比例为10∶1。而生态农业建设则要求通过生物能的利用,努力提高太阳能的固定率和利用率,尽可能做到能源自给。在这一方面,菲律宾的马亚农场已取得了很大成功。马亚农场是一个包括有农场、饲养场和食品加工业的综合性农工联合企业。其饲养场以养猪为主,农场利用猪粪发酵生产沼气。至1990年底止,该农场共饲养猪6万头,所产生沼气可以供给农场的生产和生活的能源需要,而不要求政府提供任何能源。

在我国,对生态农业建设的研究虽然刚刚开始,但在这一方面也已取得初步成功。例如北京市大兴县留民营村,在生态农业建设中充分注意了生物能和太阳能的利用,使得系统对外界能源的需求逐年减少。1983年全系统的人工辅助能的投入产出为1∶1,1984年达到1∶1.2,和石油农业的高能源投入相比,它已充分显示了生态农业的优越性。

(2) 系统必须是多种经营的

生态农业本身就是一种包括农、林、牧、副、渔各业生产及其产品加工业的综合性大农业,这也就决定了生态农业系统必须是多种经营的。

(3) 生态农业必须具有高的产出

石油农业很强调产出的增加,但在生物、生态、能量和再生能源的利用方面却付出了很高的代价;传统农业在上述几方面付出的代价虽然不大,但产出很低,效益很差。生态农业则不同,一方面它要求产出增加,但另一方面它又不去追求那种不顾代价的产出。因此,生态农业很重视现代科学技术的应用。国外的研究表

明，生态农业系统可以获得石油农业同样高的产出，而付出的代价却小得多。

（4）生态农业系统的规模大小必须适当

一般说来，规模不必太大。这是因为，当总体的规模较小时，虽然劳动的输入较高，但却可以增加单位面积的净产出。此外，较小的规模可以使土地获得更好的利用。这些不但对于发展中国家，即使对于发达国家来说，都是十分重要的。

除了上述考虑以外，生态农业系统的规模，还取决于地理位置、土壤条件、降雨量等因素。在国外如西欧，规模最大的可达 50 公顷，但大多数是比较小的。在发展中国家，规模小的只有 5 公顷（例如热带的高产地区），大的可达 100 公顷，甚至到 500 公顷（例如偏远地区）。我国地域辽阔，自然条件有很大差异，因此生态农业系统的规模大小应根据实际情况而定。比如一个乡、一个自然村均可作为一个生态农业系统。

（5）生态农业系统应有自己的加工业，能够加工大部分产品

这不仅符合多种经营的原则，而且增加就业机会，这对于人多地少，劳动力富裕的地区就更有意义。系统加工自己的产品，也大大提高了系统农产品的商品率，不论从经济效益还是从社会效益来说，都是具有积极意义的。

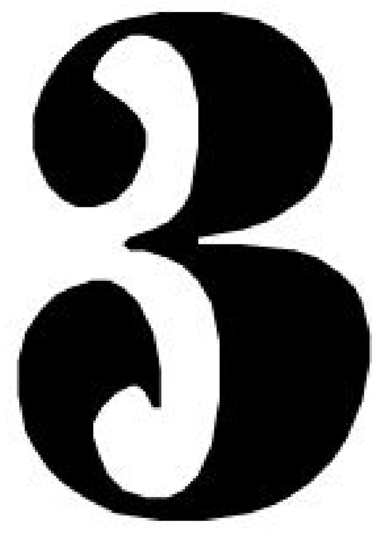
（6）生态农业系统必须具有较强的生态活力和较高的生态效率

我们所说的生态活力是指能够提供足够的收益以维持系统全部工作的一种能力，并使系统成员的生活日益富裕。现代农业，特别是在发达国家，都是得到政府的大量资助的，而不讲究自己的生态效率。而生态农业在输入方面是低消费的，因此不需要政府的补助，能够依靠自己的力量加以发展。虽然近期的经济效益增加可能慢一些，但从长远看，却能在一个很长的时期内持续、稳定地增长。

（7）生态农业系统的建设不仅要做到生产发展、经济繁荣，而且

要以全面提高农民的生活质量为目标。

这就不仅要求生态建设和发展要符合生态学原理,同时乡村的规划和建设应符合生态学要求。应尽可能充分利用乡村的自然景色,例如保留各种各样的风景区、森林、草地等。因为这样的占地也能产生自己的收益,促进系统的稳定,同时也美化环境。



生态农业系统中的能量流动

3.1 农业与能源

农业的发展与能源

农业生产特别是作物生产的基础是太阳能。农作物栽培和生长过程实际上就是太阳能转变为人类可以利用的生物能的过程。尽管这一过程在近代农业发展以后才被人们所了解,但是自从有了农业,人类就总在自觉或不自觉地利用能量来控制动植物的生长,以便更多地获取光合作用积累在植物体中的太阳能。即使在几千年前,从狩猎、采集时代向农业过渡的初期就这么做了,只不过投入的能量是劳动者自身的劳动力。而这时人类从生物界摄取的能量亦仅限于每日获取的食物和由植物所提供的燃料。随着社会的发展,人类慢慢懂得了在农业生产过程中利用畜力、水力、风力作为动

力,后来为了灌溉和进行农田基本建设,又相继增加了能量投入。

特别是现代农业发展以后,农业生产上大量使用化肥、农药和各种农业机械,因此,除了“太阳→作物→人类”这一能源供给系统以外,又增加了“矿物燃料→化肥、农药、农业机械→作物”这一新的能量流动趋向,这是跟人力、畜力有着本质不同的能量流动。

当前,农业生产所使用的能量主要有四类:

① 自然能源。它包括太阳能、水力、风力、地热能和重力能,这些能源是取之不尽的。

② 生物能源。它主要包括:非化石的有机物(如木材、秸秆、有机废物)所提供的生物能;人力及畜力。

③ 矿物燃料能源。如煤、天然气、石油,这是一类不可再生的能源。

④ 核能。这是一种目前使用尚不多但很有潜力和发展前途的能源。

上述能源从生物的角度可分为生物能源和非生物能源两种类型,从利用的角度又可分为可再生能源和不可再生能源(表3-1)。

表3-1　能源的分类

来源 \ 分类	不可再生能源	可再生能源
太阳	化石燃料: 煤 石油 天然气 页岩油 泥炭	光合作用: 薪柴 农业废物 光合作用的燃料 直接转化太阳能 水力 风力
重力	—	潮汐力
地球内部	核能: 钍 铀	地热能

不可再生能源包括矿物燃料，如煤、石油、天然气和核燃料等，沉积这些可开发的化石燃料需要亿万年的时间。

可再生能源包括光合作用的产物如薪柴和农业废物，直接转化的太阳能，水力，地热和风力等等。如合理地加以利用，它们是取之不尽的。但如果开发过快，其中一部分有可能消耗殆尽。例如，光合作用能源的增长速度受到生物学因子的限制，如果开发速度超过植物再生长速度，其再生能力就可能遭到破坏。

此外，在习惯上还将能源区分为商品性能源和非商品性能源。前者包括矿物燃料、核燃料、地热能、风力、水力、转化为机械能或电能的太阳能，以及林产品转化成的木炭和通过生物转化把农业废弃物转变成的气体燃料。非商品性能源包括直接燃烧用的薪柴、作物残渣和家畜粪便。而在商品性能源中又以矿物燃料、核能和水力资源为主。

但是不论将能源怎样区分，其最终来源都是太阳。例如煤、天然气、石油这些燃料都是陆生、海生动植物的分解产物，其中所蕴藏的能量又是来自亿万年前的太阳辐射。又如太阳辐射引起了风雨，所以来自风力和水力的能量也是来自太阳。

在农业发展的不同阶段，对能源的需求，所需能源的种类也是不一样的。在“刀耕火种”的原始农业阶段，除了太阳能以外，人类投入农业的能源，就是人类自身的劳动。到了传统农业阶段，则又加上了畜力、风力以及简单的农业机械，但主要的还是非商品性能源。在由传统农业向现代农业的过渡中，特别由于机械和化肥的使用，使商品性能源的使用迅速增加。例如整地使用机械化作业，大面积机械的生产以及机械作业时的燃料消耗，均需要商品性能源。到了现代农业阶段，为了提高单产，大量使用了农药、化肥和大规模的灌溉设施；为了提高劳动生产率，农具不断改良等等，都使商品性能源的消耗大大增加。例如据菲律宾的调查统计，在向现代农业的过渡时期，在水稻生产上所消耗的能量，70%用于化肥、农药和种子，30%用于农业

机械的制造和运转,这些能量几乎全都是来自于商品性能源。

大量商品性能源的投入,大幅度地提高了农业劳动生产率和单位耕种面积的产量,促进了农业生产的发展。因此,从一定的角度看,农业上投入能量的多少,能量的种类和构成如何,反映了一个国家的农业发展水平。

一般说来,投入的商品性能源越多,产量也越高。例如现代化的玉米生产,每公顷使用的能源大约为 65×10^9 焦,稻米生产为 135×10^9 焦,结果每公顷均可获得 5 吨以上的产量,比传统农业提高了 5 倍左右。

商品性能源的投入和劳动生产率的提高也几乎是一致的。以每个劳动力投入的能量和获得的产量相比较,美国、加拿大平均每个劳动力投入的能量为 556×10^9 焦,获得的粮食产量为 67.9 吨;拉丁美洲每个劳动力投入的能量为 8.6×10^9 焦,获得的产量为 1.9 吨;非洲每个劳动力投入的能量为 0.8×10^9 焦,而获得的产量仅为 0.5 吨。

因此,发达国家现代农业的一项基本指导思想,就是最大限度地向农业投入能量,以获得最高的粮食产量。但是这种高能量的投入,虽然促进了农业生产的发展,但是也带来了一系列的问题,例如资源的超量使用,环境污染,生态破坏,能源紧张,能源价格飞涨等等。人们终于认识到,大量商品性能源的投入并非长久之计,也并非最优选择。

而在发展中国家,能源的耗费又是另一种状况,即非商品性能源的耗费占了很大比重。曾有人估计,主要的非商品性能源(薪柴,动物粪便和农作物的残渣)在发展中国家占能源总消费的 70%左右。表 3-2 为 6 个不同发展中国家农村地区能源使用情况的调查,其中 5 个地区农村商品性能源消费(包括化肥)仅占 0~11%,非商品性能源占 28%~88%,人力占 7%~20%,畜力占 0%~5%。

表 3-2　六个典型地区农村能源的使用情况*

地区 / 能源	印　度（比哈尔）	中　国（湖南东部）	坦桑尼亚（高原）	尼日利亚（北部）	玻利维亚（安第斯区）	墨西哥（北部）
占总能源投入的百分数/%						
薪柴	7		88	80	71	
作物残渣	7	}64	—	—	—	}23
家畜粪便	14		—	—	—	
非商品性能源总计	28	64	88	80	71	23
煤、石油和天然气	—	}9	—	—	—	15
电　力	—		—	—	—	31
化　肥	1	2	—	—	—	13
商品性能源总计	1	11	—	—	—	59
人　力						
畜　力						
六 个 地 区 平 均 为 100						
平均每人投入的总能源	44	44	76	57	141	187

* 资料来源：Makhljani 等.第三世界的能源与农业，福特基金会能源政策方案的报告，第 27、34、43、46、55 页。

由此可见，一些发展中国家由于商品性能源的紧张，不得不大量使用非商品性能源，以致引起大量砍伐森林，造成生态状况的恶化。据 1974 年的统计，发展中国家 86%的木材被作为燃料使用，以薪柴作为生活燃料的人口在全世界有 10～15 亿人，几乎都是发展中国家。这实际上对劳动力也是一个极大的浪费，例如冈比亚的农民，每年每户花在采集燃料上的劳动耗费达 360 人日。

因此,不论是发达国家还是发展中国家,农业能源的缺乏,都是普遍存在的,都已成为农业进一步发展的障碍。

从生态农业的观点看农村能源问题解决的途径

按照生态学的观点,能量在整个生态系统和某一生态农业系统范围内,都是由太阳向消费者单向流失的过程。但在流失的主导过程中,还有一部分可被还原物质(主要是细菌作用)再生循环利用,这一作用在生态农业保持较高的能源自给率方面具有重要的意义。因此,在尽量从太阳获取并固定能量的同时,发展生物能的再生利用,使能量在系统中维持一个高水平的输入、输出及内部循环的动态平衡是十分重要的。

因此,按照生态农业的观点,解决农业能源的两个重要方面,一是努力提高太阳能的利用率,二是提高生物能的转化率及利用率。

(1) 提高太阳能的利用率

这就是要提高太阳能的固定率和转化率。根据测定,太阳辐射到地球上的能量为0.84焦/(厘米^2·分),而现有野生植物的光能利用率仅为0.5%,粮食作物一般平均只有0.5%～1%,高产作物也只有1.5%～2%的水平。如能分别提到2%～5%的水平,就可使初级生产者的生产效率成倍增长,大大丰富生态系统的全部运转过程,创造出前所未有的物质基础。

除了绿色作物对太阳能的吸收利用外,太阳能的直接利用也是很重要的一个方面。目前常用的有两种方法。一是借助集光器直接利用太阳光加热载热体(水或空气)。二是利用半导体光电元件直接将太阳能转换成电能。目前国外正在研究一种轻便的集光器,可以迅速地组装成所需规模的系统,而其他时间则可分散安装在所需的生产地段上。

此外，还要充分利用农业生态系统内的全部地表面积吸取太阳能，如在塘边植树以利养蚕，田边植树以防风沙，在水面放养藻类和水浮莲等以供牧畜为饲料，乔灌结合以取木材和绿肥改土等等，以及全年使用太阳能，特别是纬度较高的地区，冬季的蔬菜温室，太阳能采暖，饲养场太阳能保温等等。

（2）提高生物能的转化率和利用率

生物能又称为生物燃料，贮存于物质中，其含义是指通过植物的光合机制把太阳能变成植物有机物而贮藏的能量。生物能具有分布广泛、能够再生的特点，也是开发最现实的能源。地球上植物每年由于光合作用而固定的碳素量为 2×10^{11} 吨，合 30.24×10^{20} 焦的能量，相当于目前全世界能量消耗总数的 10 倍，粮食生产消耗能量的 200 倍，而人类真正利用的仅是其中极小的一部分。因此，对生物能的利用研究已成为当前解决能源（特别是农村能源）短缺的一个重要途径。

在生物能利用的众多途径中，最主要的，也是最现实的是向植物要转化能，也就是向大量野生植物资源及农作物废弃物（包括森林、牧草及一部分野果）要能源。计算表明，1 吨的干生物量可以发出相当于 207 升石油的能量。当前实现这种能量转换的途径有：酒精发酵，制造甲醇，沼气制取，热分解，提取碳化氢等。但当前生物能的利用主要集中在沼气的制取和酒精的生产两个方面。例如日本利用发酵农业废弃物和垃圾生产酒精，1980 年的产量已占全国酒精总产量的 60%，酒精可用做农村和工厂的动力和燃料。

沼气的利用则更为广泛而成熟，国内外均有不少好的典型。如菲律宾的马亚农场，主要利用猪粪发酵生产沼气，1981 年当猪的存栏数为 2.5 万头时，农场的能源（包括农民的家作能源）已完全由沼气供应，只有肉食加工厂和罐头厂尚需政府供电 35%。到 1990 年年底，猪的存栏数为 6 万头时，就完全不用政府供电了。沼气的生产和利用，使马亚农场获得了极大的经济效益，同时也改善了生态环境。

我国自古以农立国，具有有机农业的优良传统，这就为我国充分

利用生物能奠定了良好的基础。我国每年生产秸秆4.576亿吨,人畜粪便1.53亿吨,如能加以充分利用,生产沼气,则全年可产沼气1300亿立方米,对解决我国农村能源问题将起到极大作用。

近几年来,我国沼气事业发展很快,到1990年年底,全国已有沼气池700万个,年产沼气7亿立方米,并有沼气动力站,沼气电站900余处,发电量共35万千瓦·时,用于农村农副产品的加工和照明。

生物能利用技术的开发研究不断取得新的成果,例如美国研究一种在气体发生器中将农业废弃物在限制空气流通情况下燃烧,制取可燃烧气体的方法,其热值为6千焦/米^3。

农业生产中能量的应用

农业生产中能量的应用主要在三个方面:生物能量,环境能量和经营能量。

(1)生物能量

这是农业生产中对能量需要的最基本的方面。没有这种能量,作物就无法生长,生产也无法进行。生物能量是农业生物所直接需要的能量,其作用有下述四个方面。

① 基础代谢;这是农业生物(无论是植物还是动物)维持生命活动的基本需要。例如植物的呼吸,动物的呼吸和维持自己的体温都要消耗一定的能量。

② 合成有机体;动植物的生长,需要不断合成新的有机体,这就需要消耗大量的能量。在一般情况下,消耗的能量越多,有机体的合成就越快,动植物的生长也就越快。

③ 繁殖后代;各种生物为了繁殖后代,动物需要生育,植物需要开花结果,这也需要消耗大量的能量。

④ 生存活动;例如动物,在它整个生命过程中都需要活动,为了生存而取食,为了逃避袭击,为了躲避不利的生存环境,为了嬉戏,都

需要运动，而运动就意味着能量的消耗。

因此，任何农业生物都必须有能量的供给，如果没有这种能量的投入，农业生物就不能生存、生长，整个农业生产就会停止。

（2）环境能量

又称外部能量，它虽然不进入生物产品的构成之中，但它能给农业生物的生长提供适合的条件。它是农业对能源需要的一个基本方面，是促进提高生物能利用的重要保证。例如农田耕作、施肥、灌溉，以及制造农机，生产化肥、农药等均需要投入大量的能量。

（3）经营能量

这主要指农业机械的运转与维修、各种农用设施的管理与维护所消耗的能量。

通常我们把环境能量和经营能量称之为辅助能量，以区别于由太阳能直接提供的生物能量。

农业生产中辅助能量的需要往往远大于生物能量的需要。辅助能量是人类进行农业生产活动的特点，如不加入辅助能量，则生物将保持自然的生态，不属于农业的范畴。

但是，不论是生物能量，或是环境能量或是经营能量，其最终都来自于太阳。

农业生产中能量的消耗及其转化如表 3-3 所列。

表 3-3　农业生产中能量的消耗及转化

<table>
<tr><th>能量来源</th><th>能量形态</th><th>能量类别</th><th>作用</th><th>转化去向</th></tr>
<tr><td>自然能量</td><td>阳光</td><td rowspan="2">生物能量</td><td rowspan="2">直接转化为农产品</td><td rowspan="2">由农产品转化为商品</td></tr>
<tr><td rowspan="2">自然能量或人类供给</td><td>饲料</td></tr>
<tr><td>加温、通风、灌溉、施肥</td><td rowspan="2">环境能量</td><td rowspan="2">促进太阳能的固定利用或生物能的转化</td><td rowspan="2">化学物质并引起污染</td></tr>
<tr><td rowspan="2">人类供给</td><td>杀虫、除草、耕耙等</td></tr>
<tr><td>农产品的收获、加工、运输等</td><td>经营能量</td><td>影响农产品转化为商品并影响环境能量的利用效率</td><td>热量散失并引起污染</td></tr>
</table>

3.2 生态农业系统中的能量流动

生态系统一切能量的总来源——太阳

地球上的一切生命过程,包括农业生物在内,基本的能量源泉为太阳辐射能,太阳能不仅是初始生产力的光合作用产物合成的动力,而且也是农业中各种主要环境因子变化和发展的动力。可以说,生态农业系统中所发生的绝大部分自然过程,如水分的循环、植物的光合作用、气温的变化等等,无一不是由于太阳能作用的结果。因此,不论是无机界还是有机界,其最基本、最直接的能量,均来自太阳辐射。图 3-1 为辐射能由太阳到植物的流动情况。

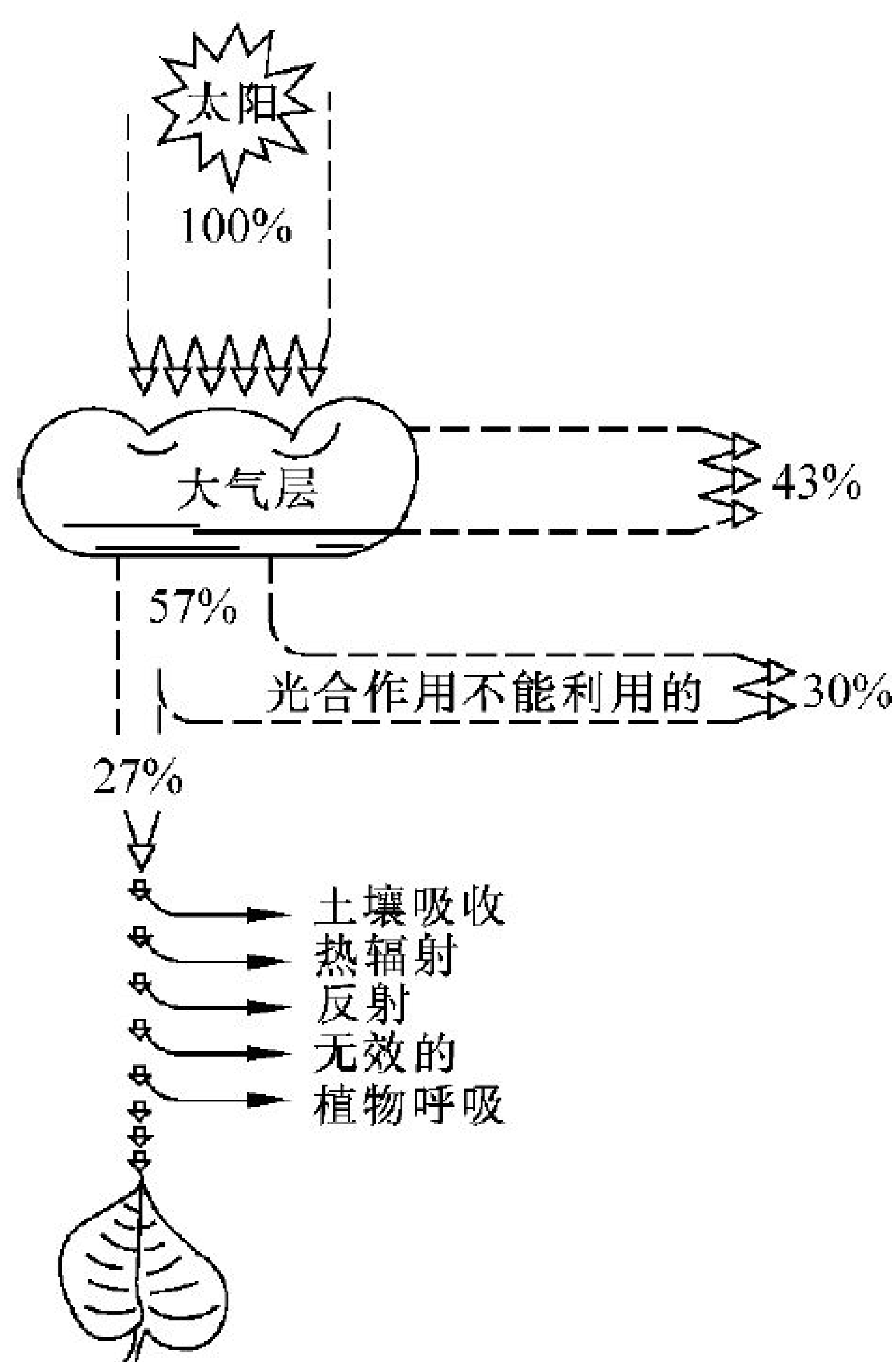


图 3-1　能量从太阳到植物的流动情况

巨大的太阳能由何而来？太阳的巨大能量来自热核反应。我们知道，化学元素氢和氦的相对原子质量分别为 1.008 和 4.003，当 4 个氢原子合成一氦原子时，就多出了 0.029 单位的相对原子质量，这一点点多余的质量按照爱因斯坦能量公式，即能量 E 等于质量 m 与光速 c 平方的乘积：

$$E = mc^2$$

即变成了巨额的能量。这个质能互换公式，揭示了太阳放出巨额能量的秘密。因为在太阳的组成成分中，最丰富的就是氢，其次为氦，二者合计占太阳总质量的 97%，加上处于太阳那样的高温和高压之下，就能顺利地进行热核聚变反应，从而放出巨大的能量。太阳的总质量约为 2×10^{33} 克，如果假定全部由氢组成，则按照计算，它可发射出相当于 2×10^{45} 焦的能量，而太阳每秒钟辐射出的能量为 3.7×10^{26} 焦，这样太阳内部由氢（质子）聚合成氦的过程，至少可以延续 10^{11} 年即 1 千亿年以上。因此，可以相信，在地球形成至今的几十亿年中，太阳向外辐射的能量基本上保持一个恒定的值。

现已精确测定，太阳常数，即位于地球的大气层之外，在日地平均距离上，垂直于太阳射线的 1 平方厘米面积上，所接受的太阳辐射能数值为 8.11 焦/(厘米^2・分)。但是由于大气的反射、吸收和散射（见图 3-2），只有其中大约 50%通过大气层到达地面。实际落到植物上的平均数只有 1.02 焦/(厘米^2・分)，而且并不是所有落到植物上的日光都能被植物所吸收，叶绿素只能有效地吸收光谱中蓝色和可见红色部分，大多数植物只能吸收落到它们之上的总日光辐射能的 50%左右，即落到植物上的 4187 焦日光能，只有 2094 焦被吸收，其余的则被植物反射或通过植物散失掉。被植物吸收的日光能中又只有 0.4%，即 8.36 焦用于有机物质的合成。这 8.36 焦日光能中的 4.18 焦在植物呼吸时作为热损失；另一半，即 4.18 焦成为净第一性生产量。所以，落到植物上的 4187 焦太阳能，实际上只有 4.18 焦形成植物产量（参见图 3-2）。

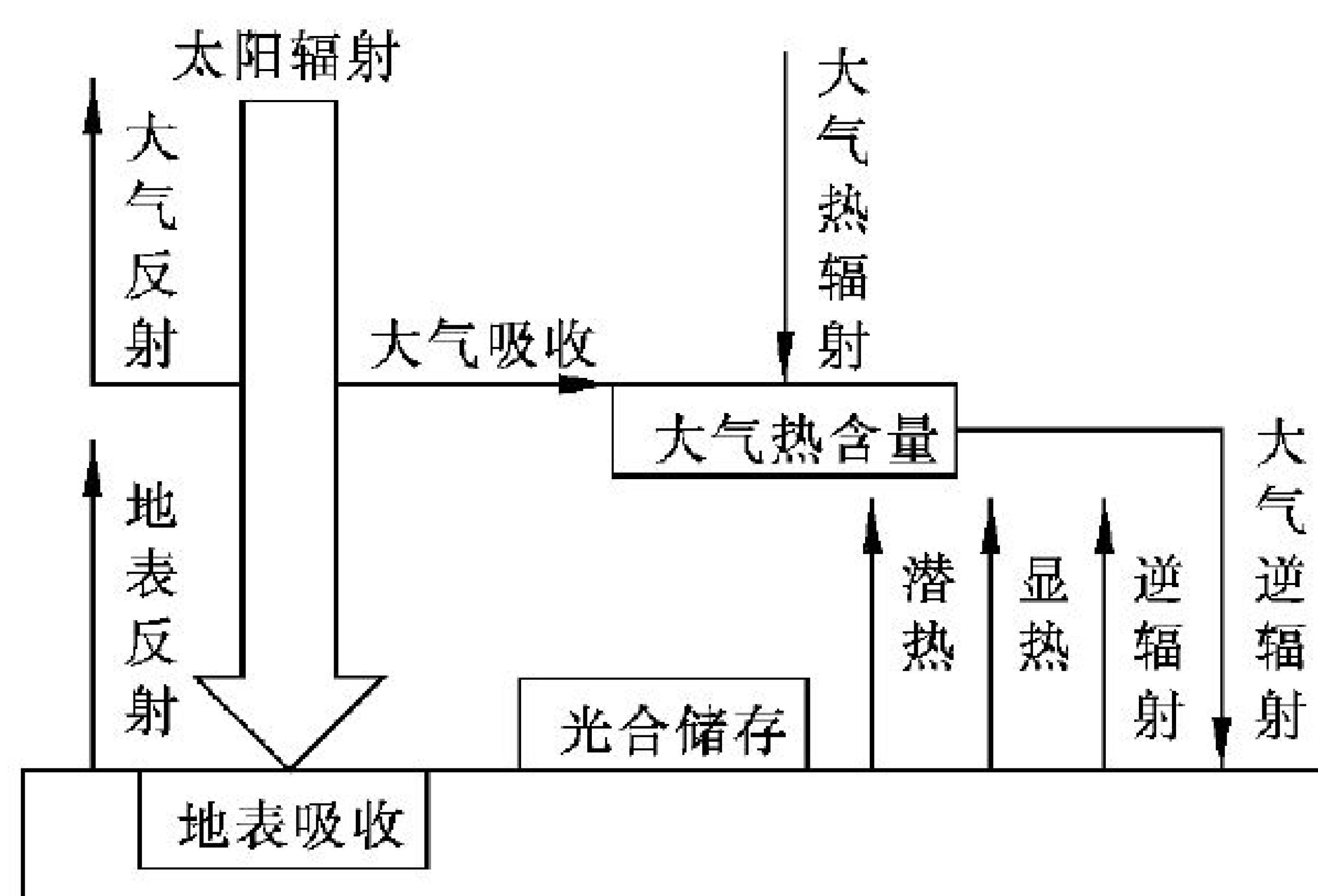


图 3-2　地表能量平衡示意图

此外,地球表面所接收的太阳能也不是均匀分布的,不同的纬度,同一地区的不同坡面,所接受的太阳能也是不同的,大气的吸收,太阳照射角度的不同,均要影响到太阳能的辐照。所以,如何根据不同地区的条件,因地制宜地开展太阳能的利用研究,努力提高太阳能的固定率和利用率,有着十分丰富的内容。

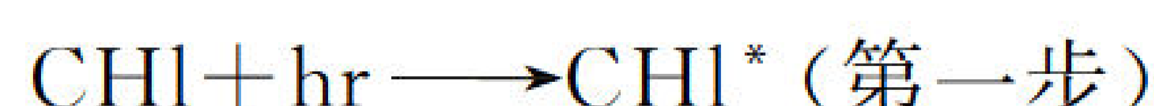
绿色植物对太阳能的固定

太阳能是十分巨大的,但它只有通过绿色植物的光合作用,才能变为化学能储存于植物体内,成为植物和动物生命活动中随时可以取用,但又可长期储存的形式。因此,光合作用对于整个生物界的意义是非常重大的。

从字面上来解释,光合作用(photosynthesis)一词就是"用光来构成或合成"之意。通常所谓光合作用,就是在阳光下植物用无机原料合成有机化合物的过程。宇宙间的任何生物都需要依靠能量来生长和维持生命。藻类、高等植物以及某些细菌,可直接从太阳辐射中获得能量,并用这种能量去合成必要的食物。动物则不能直接从太阳取得能源,它们只能通过吃"植物或吃植物的动物"来取得能源。所以太阳能是地球上所有代谢能的基础,所有生命形式的维持都有

赖于光合作用。从低级的藻类到最高级的人类，无不如此。因此，从这个角度来说，光合作用又是把太阳能转化为植物组织化学能的一种能量变换过程。

虽然光合作用早就被人们所发现，但直到今天，人们对客观存在的机理尚未完全了解清楚。不过大致的过程已被揭示出来，这是一个可分解为两步的反应过程。如果用方程来表示可写为



$$CHl+hr\longrightarrow CHl^{*}\text{（第一步）}$$



$$CHl^{*}+CO_2+H_2O\longrightarrow(CH_2O)+O_2+CHl\text{（第二步）}$$

其中 CHl 就是叶绿素分子。光合作用的形象解释就是：太阳辐射中的光子流打击到叶绿素体中的叶绿素分子上，使得叶绿素分子获得了量子能，并把电子抛出原来的轨道（即电子受激跃迁），这时叶绿素分子便由于失去了电子而带正电，因此它就具有吸引电子的能力，这就使得叶绿素分子起到具有一种将光量子转变成电子流的“电子泵”作用。这一步反应只是光合作用的起点，而整个光合作用的完成，则需要经过一系列的反应。此外，除了在第一步光化反应中所使用的能量为光能以外，均不是直接取自光能，而是使用所熟知的ATP。而且必须用适当的形式将水中分解出来的氢原子保存起来，以使后面的反应具有一定的还原能力。而这个还原动力就是还原性辅酶Ⅱ的形式，它也是一种高分子化合物，通常表示为 NADPH。

于是，光合作用的总过程，就分解成了这样的两个阶段。第一阶段为光化反应，在此阶段中，光被叶绿素分子吸收利用，经过变换可以形成 ATP，同时分解水分子并形成还原动力 NADPH 的形式。光合作用的独特之处，也就是它可以把太阳能直接转换为 ATP 和 NADPH。第二阶段就是利用 ATP 和 NADPH，将二氧化碳转变为碳水化合物。第一阶段的反应必须在阳光下进行；第二阶段则不直接需要光，因此通常又称它为暗反应。暗反应（也就是酶反应）要比第一阶段的光反应慢得多，因此光合作用的速度主要取决于暗反应的速度。并且光合作用的最高产量也不是决定于俘获电子的叶绿素

分子的数目,而是取决于导致暗反应的酶分子数。

在叶绿体中,能吸收光量子的,除了叶绿素外,还有胡萝卜素、色黄素。此外,叶绿素对光能也是有所选择的,我们通常把引起光合作用的那一部分辐射能称之为“光合有效能量”。

光合有效能量的测定对于准确估算作物生产潜力是十分重要的,因为通过测定光合有效能量,才能确定供给绿色植物光合作用中的总能量。以前,一般是将这一部分能量粗略地估算为太阳辐射总值的一半,这是很不精确的。但遗憾的是,直到目前为止,尚未有这方面的完整资料和分析方法,来进行光合作用有效能量的准确计算。目前常用的办法是通过定点的观测,然后采用气候学的计算方法来求取光合有效能量。还有一种方法是,进行严格的对比观测,即在同时、同地、同等的天气情况下,用两类不同仪器进行观测对比分析,并结合不同的天气类型、大气状况、太阳高度等,寻求它们之间的规律。这是一种比较精确的方法,但是,实际进行起来比较困难。

生态农业系统中的能量流动

太阳能辐射到地球上以后,被绿色植物吸收和固定,并将光能变为化学能,这个过程就是我们上面所讨论的“光合作用”。在光合作用过程中,绿色植物在光能的作用下,把吸收的二氧化碳和水,合成为碳水化合物,称为“光合产物”。同时也把吸收的光能固定在光合产物分子的化学键上。这种贮藏起来的化学能,一方面满足植物自身的生长需要,同时也供给其他异养生物生活的需要。于是,太阳能通过绿色植物“光合作用”进入生态系统,并作为高效的化学能,开始了流动。例如作为饲料的牧草,含有一定的淀粉、脂肪、蛋白质、纤维素等有机质,亦即含有一定的能量。当牧草被草食动物采食后,能量便流进草食动物;当草食动物被肉食动物捕食后,能量又流入肉食动物;人类又以植物、动物为食,能量于是又

流入人类身体中。

生态系统中的能量不仅有流动，而且也有转换。例如高山水库中的水，具有巨大的潜能（势能），而且一旦开闸放水，势能就会转化为巨大的动能。生态系统中的动能，是生物及其环境之间以传导和对流的形式互相传递、转化的一种能量。生态系统中的潜能是蕴藏在光合产物化学键内处于静态的能量，它只能通过食物链内取食关系在生物之间传递和转化。这种生物与环境之间，生物与生物之间的能量传递和转化过程，就是生态系统中的能量流动过程。

生态系统中的能量流动和转换，是服从于热力学第一定律和第二定律的。

热力学第一定律就是能量守恒定律，但“在自然界发生的所有现象中，能量既不能消灭又不能凭空产生，它只能以严格的当量比例，由一种形式转变为另一种形式”。生态系统中能量变换，也完全符合这一定律。例如，当绿色植物吸收光能以后，可将光能转变为化学能，而当绿色植物被草食动物采食后，又可将化学能转变为机械能或其他形式的能量。再如，萤火虫能将采集的化学能转变为光能。显然，如果一个系统的能量发生变化，则必然引起环境能量的变化，系统能量增加则环境的能量必然要减少；反之也一样，系统能量减少，则环境的能量必然增加，因为总能量是固定不变的。所以，当系统通过光合作用增加能量时，其增加的部分必然等于太阳能减少的部分，但总的能量仍不变化，所不同的只是太阳能转变成了化学潜能，输入了生态系统。这就是生态系统对能量的固定。

而热力学第二定律则是对能量传递和转化的重要概括。简单说来就是：在封闭系统中，一切过程都伴随着能量的改变，在能量的传递和转化过程中，除了一部分可以继续传递和做功的能量（自由能）以外，总有一部分不能继续做功和传递，而以热的形式消散，这部分能量使熵（熵是指：“为了衡量热力体系中不能利用的热能，用温度

除热能所得的商。”)和无序性增加。

开放系统(同外界有物质和能量交换的系统)跟封闭系统的性质不同,只要不断有物质和能量输入和不断排出熵,开放系统就可以维持一种稳定的平衡状态。生态农业系统也是一种开放系统,在能量的输入和输出上,也必然要保持一种平衡的稳定状态。

显而易见,热力学第二定律决定着生态系统利用能量的限度。也就是说,在一个生态系统中,当能量从一种形式转化为另一种形式的时候,转化效率决不可能是百分之百。事实上,生态系统利用能量的效率很低,绿色植物的光能利用率,在自然条件下,一般约为1%,而绿色植物所获得的能量,也不可能全被草食动物所利用,草食动物所利用的能量,一般仅仅等于绿色植物所含总能量的1/10左右。同样,肉食动物捕食了草食动物,它所能利用的能量,也不可能等于草食动物所含有的全部能量,这也是显而易见的,因为肉食动物在捕捉食物的过程中,存在着不得食和不可食的问题。即使在已捕捉到的食物中,因为被捕食的动物本身的呼吸作用和代谢活动,必然已消耗了相当一部分的能量,同时,它的皮、毛、骨等也是不能为捕食者所食用的;在已取食的食物中,还要有一部分不能被消化利用,而作为粪便、尿、汗、发酵气体等排出体外。

这就不难看出,能量在生态系统中的流动,是沿着生产者和各级消费者的顺序逐级减少的。能量在流动过程中,一部分用于维持新陈代谢活动而被消耗,同时在呼吸过程中以热的形式散发到环境中去,只有一部分做功,用于合成有机组织或作为潜能储存起来。因此,在生态系统中能量传递的效率是很低的,所以能流也是越来越细(参见图2-2)。一般说来,能量沿着从绿色植物——草食动物——一级肉食动物——二级肉食动物逐级流动时,通常后者所获得的能量大体上等于前者所含能量的1/10。也就是说,在流动过程中,有大约9/10的能量损失掉了,这就是生态学中有名的“十分之一定律”。当然这只是一种粗略的计算,往往与一些生态系统的实际情况

有较大的差距，但它提供了一个大致的数量概念，为更准确的定量研究打下了基础。

生态系统中的能量流动，还有一个显著的特点，即这种流动是单一方向的。这是因为，能量以光的形式流入生态系统以后，就不能再以光的形式，而只能以热的形式逸散于环境之中。绿色植物不能用热进行光合作用，而它所截取的太阳能，也不能再返回到太阳。同样，草食动物从绿色植物所获得的能量，也决不能再返回给绿色植物；肉食动物从草食动物所获得的能量，也决不能再返回给草食动物。所以，能量的流动是单程的，只能一次流过生态系统，而不是循环的。它在生态系统中是按前进的方向进行的，是不可逆的。

此外，生态系统中的能量流动，是借助于食物链和食物网来实现的，食物链和食物网便是生态系统中能量流动的渠道。在食物链上，能量从一个营养级位到下一个营养级位不断逐级向前流动。例如：太阳光能被生态系统中的生产者营养级位（绿色植物）固定后，通过光合作用转变成光合产物分子中的化学能；然后，当一级消费者营养级位（即草食动物）采食绿色植物时，能量就转移到了草食动物体内。当二级消费者营养级位（即一级肉食动物）捕食草食动物时，能量又流入一级肉食动物体内。同样，当三级消费者营养级位（即二级肉食动物）捕食一级肉食动物时，能量再进一步流入二级肉食动物的体内。最后由分解者（细菌、真菌、一些原生物和腐食性小动物）把复杂的动、植物残体分解为简单的化合物，并且在分解过程中，释放出能量，并最终将能量归还于环境中。

生态系统中的任何一种生物都属于一定的营养级位，在食物链中，每一个营养级都把从前一个营养级所获得的能量的一部分用于维持自己的生存和繁殖，同时又把另一部分能量转移到后一个营养级中去。一般说来，食物链中的营养级不会多于5个，因为能量沿着食物链的营养级逐级流动时，不断地减少，当经过4～5个营养级的

流动、传递以后,所剩下的能量已不足以再维持一个营养级的生命了。

一个生态系统中有着众多的食物链,这是由于每一种生物都不可能只以单一的某种食物链维持自己的生命,因此,食物链又常常是交织在一起的,形成了食物网。食物网使生态系统中的各种生物成分有着直接或间接的联系,因而增加了生态系统的稳定性。假如食物网中的某一条食物链发生了障碍,可以通过其他食物链来进行调节和补偿。例如草原上的野鼠,由于鼠疫的流行而大量死亡,原来以捕鼠为食的猫头鹰则把捕食的目标转移到野兔身上去了。

食物网是生态系统中普遍而又复杂的现象,是生态系统中的营养结构,又是能量流动的主要渠道。

能量流的分析计算是生态学原理在生态农业建设中应用的一个重要方面,对建设良好的生态农业系统,提高农业生产力是十分重要的。通过能量流的计算分析,以及在此基础上进行的生态效益计算,可以发现生产中的薄弱环节,从而采取有效措施,促进生产更好地发展。例如作者在北京留民营生态农业系统的建设过程中,定量、系统地研究了太阳能被植物(粮食及蔬菜生产)吸收再沿着食物链传递进入养殖业(畜、禽生产)等的流动、转化情况,并对流动、转化各环节生态效率做了计算。作者发现,影响整个系统生产力的是畜禽养殖业。进一步的分析研究表明,影响养殖业的是系统中饲养数量最大的肉牛生产。为此采取了一系列的措施(例如冬季加喂精料,缩短饲养周期,减少呼吸损失),有效地促进了肉牛生产,使整个系统的生产力大为提高。同时也为北方地区大牲畜的过冬饲养提供了经验。

4 生态农业系统中的物质循环

4.1 生命系统中的物质

生命的维持除了需要能量以外，也还需要物质，二者缺一不可。

科学的研究和测定表明，生命有机体至少需要30～40种元素，以保证他们的生长和发育。其中最重要的是碳、氢、氧、磷、钾、氮、硫、钙、铁、镁、硼、锌、氯、钼、钴、碘和氟。

氧、碳、氢、氮四种元素构成植物或动物身体组织的95％～99％，这些元素在生命中起着关键的化学作用，因此被称为关键元素，又称为能量元素。

除了上面四种元素以外，其余的元素分为两类：一类是大量元素，如磷、钾、钙、镁、硫、铁，这些元素在生命有机体中需要较大的数量；另一类是微量元素，只需要较小的数量，但仍然是不可缺少的，它们包括铜、锌、硼、锰、钼、钴、钒等。微量元素中，

有一些是对所有的有机体都是不可缺少的,另外一些则只对动物是必需的。如果缺乏这些养分元素,植物和动物就不能正常地生长、发育。

那么,生态系统中生物成分里的这些化学元素是从哪里获得的呢?跟生态系统中能量的来源完全不同,它们是由地球供给的。

我们知道,生物的外界条件的总和称之为环境。构成环境的一切物质基础,除了太阳辐射能以外,都是由地球提供的。有人曾做了这样一个实验,他首先测定了地球岩石中各种化学元素所占的比重,然后,又同人体血液中各种化学元素所占的比重进行了比较。结果发现,除了构成血液原生质的主要成分(碳、氢、氧、氮)和岩石的主要成分(硅)以外,岩石和人体血液中的其他元素所占的比重竟然是相似的。

地球,在它漫长的演化过程中,通过化学进化,从无机到有机,从简单到复杂,终于孕育并诞生了生命。而生命,就像婴儿吮吸母亲的乳汁一样,一刻不停地从地球中吸取营养物质,用以建造自身,生长发育,并逐渐形成了我们现在所见到的丰富多彩的各种生态系统。

生态系统中的物质跟能量不同,它们以或多或少循环的途径在系统中进行运动。就是说,在生态系统中,在进行能量流动的同时,生物维持生命所需要的元素,如上述碳、氢、氧、氮、磷等,也参加流动,不过流动的途径是循环的。所谓循环,指的是物质可以被多次重复利用。在生态系统中,生物从环境获得营养物质,再被其他生物重复利用,最后又复归于环境,这就是生态系统中的物质循环。它跟能量的单向流动是完全不同的,始终处于一种周而复始的循环之中。例如,绿色植物不断地从周围环境中吸取各种化学营养元素,将简单的无机分子转化成复杂的有机分子,用以建造自身。当草食动物采食绿色植物时,植物体

内的营养物质就转入到草食动物体内。同样，当肉食动物捕食草食动物时，草食动物体内的营养物质又转入到肉食动物的体内。当植物、动物死亡以后，它们的残体和尸体又被微生物所分解，并将复杂的有机分子转化成简单的无机分子复归于环境，以供绿色植物再吸收，进行再循环。所以，我们可以这样想象：现在我们从空气中吸入肺部的一个氧分子，昨天可能是一棵松树糖分子的组成部分，去年可能是一只山羊脂肪分子的组成部分，很早以前可能是北京猿人蛋白质分子的组成部分，而在更早的地质年代，则可能是原始海洋中水分子的组成部分。正是由于生态系统中存在着永续不断的物质循环，我们所居住的地球至今仍然生机盎然。

生态系统中物质循环过程，可用如图 4-1 简化了的模型表示。

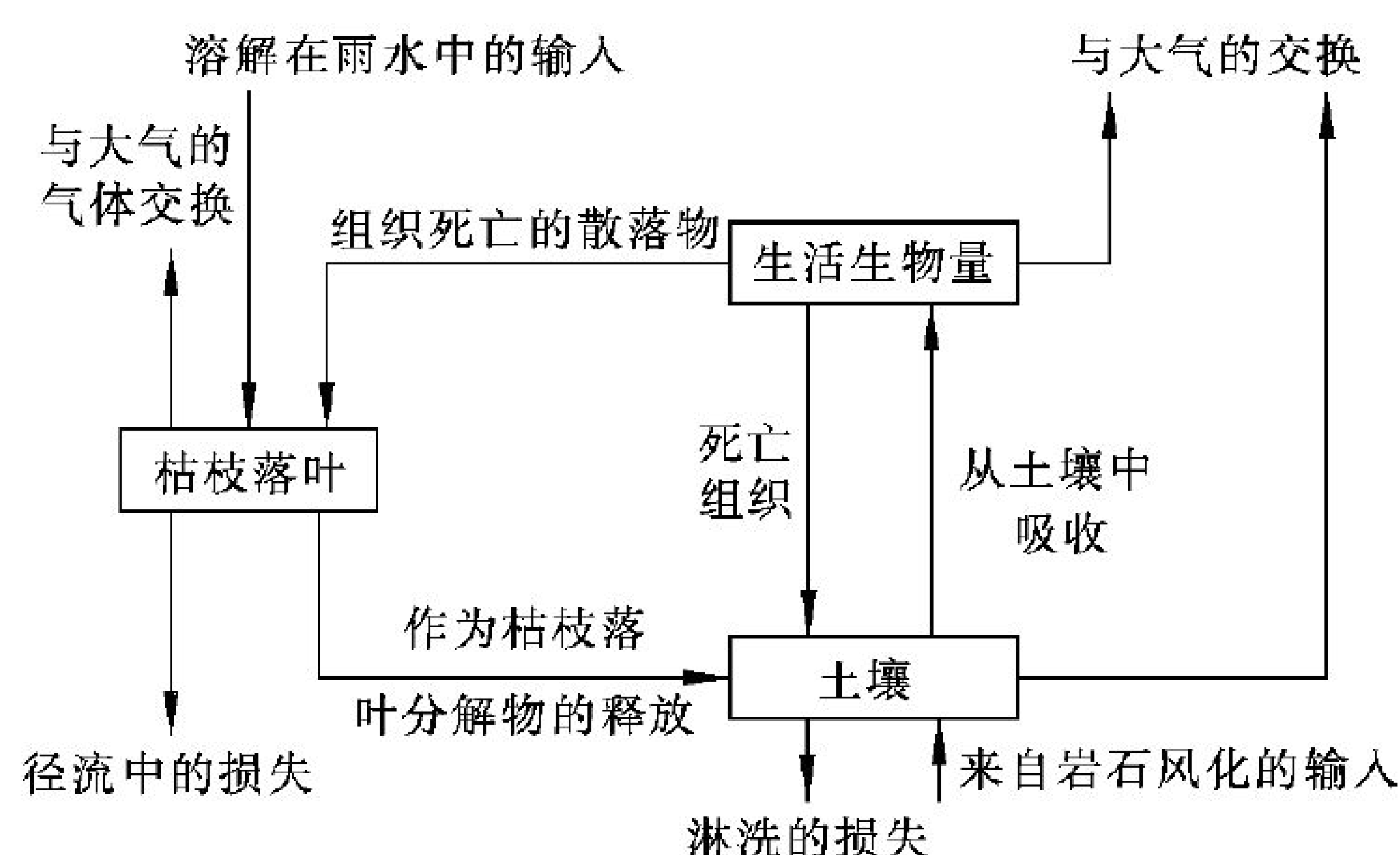


图 4-1　生态系统中物质循环的一般化模型

在讨论生态系统中的物质循环时，有两点需要注意。第一，跟能量流动时的情况不同，养分循环时，在各营养级上没有作为不能利用的降解形式（热）的损失；第二，没有已知生物学功能的元素，即不是养分的元素，也在有机体和环境之间进行循环。它们可能由于化学亲和性，而与养分元素相联系，进入生态系统的

物质循环;或者它们可能由于简单地被携带在总的被能量推动的流动中,同样,人为生产的毒物,例如杀虫剂和放射性物质等,也经常地进入这种极其重要的循环,并存留在动物和人的机体组织中。因此,非养分元素也有很大的生态学重要性,应该予以注意。

4.2 生态系统中的两类物质循环

生态系统中的物质循环,除了水的循环以外,又称为生物地球化学循环,即各种化学物质在地球上的生物和非生物之间的循环运转。这种循环主要在生态系统和生物圈里进行。

在生态系统中,各种化学元素在生物与非生物成分之中的滞留,可以称为库。这些元素在库与库之间的转移构成物质循环。由于各库的库容量不同,以及各种元素在各库的滞留时间和流动速度的不同,因此,我们常把库容量大、元素在库中的滞留时间长、流动速度慢的库称为“储存库”;反之,库容量小、元素在库中的滞留时间短、流动速度快的称为“交换库”。一般说来,储存库多属于非生物成分,交换库多属于生物成分。

尽管物质在化学性质上各种各样,但根据循环的主要蓄库是大气,还是所有蓄库跟岩石、土壤和水相联系,可区分出两类物质循环:

① 气相循环

它的储存库主要是大气圈和水圈。氧、二氧化碳、水、氮等都属于气相循环类型。气相循环把大气和水体紧密地联结起来,具有明显的全球性循环特点,因此是一个相当完善的循环类型。

② 沉积循环

主要储存库是岩石圈和土壤圈。磷、硫、钙、钾、钠等都属于沉积循环类型。沉积循环主要是经过岩石的风化作用和沉积物本身的分解作用,将储存库中的物质变成为生态系统中生物成分可以利用的

营养物质。这种转变的过程相当缓慢,可能在较长的时间内不参与各库之间的循环。因此,它具有非全球性的特点,是一个不完善的循环。

气相循环和沉积循环,虽然各有特点,但涉及到生物和非生物的动因,都受能流驱动,都依赖于水的循环。

4.3 生态农业系统中物质循环的基本原理及其控制

动、植物生长发育不可缺少的物质养分,遵从“土壤→植物→动物→土壤”的循环。这种通过一系列库(或称隔室)的转移顺序,构成了物质循环一种最简单的代表方式。但是在大多数情况下,物质的转移循环要比这复杂得多。许多循环是多环性的,在其中,一个元素可能在一个库中通过几个过程而进行循环,例如元素在进入植物库以前,在土壤库中就是如此。一种物质完成一个循环所需的时间长短可能很不相同。在微生物中转化需若干分钟;在一年生作物中吸收和生长需若干个月;在动物中吸收和生长需若干年,而在自然环境中转移则需数千年甚至数百万年。因此,研究任何的物质循环的时间尺度,必须仔细确定。而为了对物质循环进行定量研究,还必须对所研究物质的化学性质、库的大小和性质、库与库之间的通道、物质沿着这些通道转移的速率和数量,以及所研究的系统的界限和范围(如牧场、农场、农业生态系统等)有所了解。

一般说来,决定元素循环方式的最重要特性,是其在水中的溶解度、挥发性和电化学势。比如:氮和它的气态化合物是挥发性的,它的固体化合物在水中溶解度很高,所以氮素循环是高度动态的,并且具有很多复杂的通道和转移方式。

磷化合物在水中的溶解度低,所以在土壤和植物含磷量中只

有很小一部分(1%)出现在植物组成中,所以磷素循环一般都不如氮素那样丰富多彩。钾素循环的复杂性介于氮素和磷素二者之间,因为钾化合物一般都不挥发,但在水中有较高的溶解度。钾在土壤中比磷较易从土壤胶体上被代换出来,它被植物吸收的数量亦大于磷。

生态农业系统中物质的循环,通常经过植物库、牲畜库和土壤库。

植物库包括了植物的所有部分,它可以是作物,也可以是被牲畜消耗的那一部分。在大多数集约放牧或种植系统中,物质在植物库中只占了全部循环的一小部分时间。而未被充分利用的原有植被或森林,物质存留的时间可以较长。有时还将植物库划分为储存于顶部和储存于根部的物质。这样划分,对于研究在一个生长季节结束时收获的根类作物,以及遗留在土壤中的根的动态,是很有利的。

牲畜库包括了动物消耗的植物产品中所含的养分。草食动物所保留的养分,只占其消耗量的很小的一部分,而大部分所吞食的养分,都作为排泄物归还到土壤了,变成了土壤库的一部分。当牲畜产品出售时,这些养分就越过了系统的边界。

土壤库包括了有机和无机组成中的养分,以及存在于土壤溶液中和成为代换态的养分,后两类养分构成了土壤有效态养分库,而植物是从有效态土壤库获得养分的。因此可以认为,有一个总的土壤库或三个分库。而将有机残体库看作一个分开的实体是很重要的,因为有机残体中的养分,在其矿质化并转移至有效态库以前的变化是很大的,并且存留在残体中的时间很长。

当养分在这些库中转移时,可能发生各种不同方向的转移,但实际上,这些转化中只有某一部分或某一方向的转移是重要的。若两个方向的转移同时发生,则通常只测定其净结果。

此外,当由于施肥或出售农产品而使得养分进入或移出某一库

时，对这些转移的定量计算，需要仔细确定养分循环系统的边界，并确定发生转移的时间周期。

在任何储存库中，一种养分的平衡状况，可以通过该养分的净流入和净流出来确定。当流入和流出相等时，就出现了平衡状态，或者说稳定状态。这时尽管仍有流出和流入，但库的容量没有变化。另一方面，平衡是指两个相反方向之间的转化处于均衡状态，在库与库之间的转移过程中也有可能发生。

生态农业系统中，养分在各个库之间转移的数量，不但受系统内状况和过程的影响，也受系统外的环境和控制力量的影响，亦即养分循环受到系统内部和外部两方面的控制。外部控制是由物理环境和化学环境所施加的，并且被相关元素的化学性质、它对环境影响的能力所改变。内部控制是通过这个系统的组成部分的生物学能力，去应付其生物的、物理的和化学的环境而实现的。生态农业系统经常以输入肥料和输出粮食或纤维产品为特征，因此更加服从于人类及栽培措施的影响。

生态农业系统最重要的外部控制是由能量造成的。能量通过下述三方面而起作用：一是调整光合作用，二是气候条件中的温度对生长速率的影响，三是土壤和植物中依赖于温度的化学和微生物过程。

外部控制的另一重要方面就是水分的供应与调节。因为水分不仅是植物生长的一大要素，还是一种重要的运输介质，并且由于养分溶解度和水分供应之间的相互作用，控制着养分对植物和微生物的有效性，因此，水分及循环对于生态农业系统中的物质循环是极其重要的。

显然，人类对于生态农业系统中的养分循环，有着十分深远的影响，而系统又反过来可以影响养分循环的稳定性。在控制生态农业系统中养分循环的诸多因素中，最有力的包括施用农家肥和化肥、土壤管理、选择作物及作物管理体系、动物管理体系的操

作等。

生态农业系统中物质循环的内部控制,涉及到很多的生物学和生物化学过程。例如,土壤库中这些控制的实现,将包括土壤科学所了解的所有吸收、交换和运输过程的详细分析。又例如,对植物和牲畜库中的过程的说明,将包括对植物和动物生理学的详细探讨。这里就不详细讨论了。

养分循环是物质循环的一部分,本节所讨论的养分循环及其控制措施,又主要是指针对生态农业系统中氮、磷、钾三种最主要的养分而进行的。显然这仅仅是一般性讨论。关于生态农业系统中几种重要物质的循环情况,下面将分别进行讨论。

4.4　水循环

水循环是水分子从地球表面通过蒸发进入大气,然后通过雨雪或其他降水形式又回到地球表面的运动。这是地球上太阳能所推动的各种循环的一个中心循环。

水循环对地球上的生命具有巨大的意义。

① 它为陆生生物和淡水生物提供了淡水来源。从地球表面蒸发到大气中的水,遇冷凝结成雨或雪,降落下来,注满江河湖泊,并成为地下水源,这些都是陆地和淡水生命形式所依赖的。到达地面的降雨,相对说来,未被污染。但它被各种生命形式利用以后,或当它与矿物或废物接触时,水就变得越来越不干净,一直到最后完全不能利用。而只有太阳能才能完成这种淡水来源的更新,因为当水分蒸发时,污染物才被截留下来了。

② 由于水是最好的溶剂,其他的物质循环(生物地球化学循环)都是结合水循环一起进行的。由于水循环和矿物元素的生物地球化学循环如此紧密地交织在一起,以至对水循环的任何干预都会影响到其他循环,甚至在局部范围内造成循环的瓦解。所以,保护水循环

的完整性是环境保护的一个中心问题。

③ 水在进行全球性环流时,也影响到地球的热收支,从而间接地影响到生命的繁衍和扩大分布。

地球上稳定的水平衡是由蒸发和蒸腾、降水、滞留和运输保持的。如果落降在地球上水的数量是 100 个单位的话,那么,平均说来,84 个单位通过蒸发从大洋损失,而其中又有 7 个单位的水量由于降雨又直接返回大洋。陆地通过蒸发、蒸腾损失 16 个单位水量,通过降雨获得 23 个单位。从陆地到海洋的径流大约是 7 个单位,这 7 个单位平衡海洋的蒸发亏缺。余下的 7 个单位作为大气水分在高空环流着。可见,地球陆地表面的降水超过陆地的蒸腾和蒸发,海洋则相应地降水比蒸发少。风从海洋带到陆地的大量水汽的净流量被从陆地流到海洋的径流所平衡。

绿色植物在水循环中的作用是极其巨大的,植物从土壤中吸收的水分,大约有 97%~99%通过蒸腾而损失掉,根据植物生理学家的测定,一般的植物每生产 1 千克干物质,就要蒸腾大约 1000 千克的水分,而全世界陆地生态的第一性生产量大约是 1.1×10^{14} 千克干物质/年,因此,陆地植物每年蒸腾的水量大约是 1.1×10^{17} 千克,几乎超过了陆地蒸发蒸腾的总量,虽然这一数字可能过高①,但植物在水循环中的重要作用是显而易见的。植物通过蒸腾作用,增加了空气中的水分,促进了水的循环。

图 4-2 为地球上水循环过程的大致情况。

水对于农业生产的意义是十分巨大的,它不仅是绿色植物进行光合作用所必需的基本物质,同时也是在植物整个生长发育过程中所不可缺少的。"有收无收在于水",充分表明了水跟农作物的关系。所以,自古以来,在所有改造农业自然条件的措施中,最易为人们理

① 计算表明,每生产 1 千克干物质,蒸腾的水量为 500 千克。

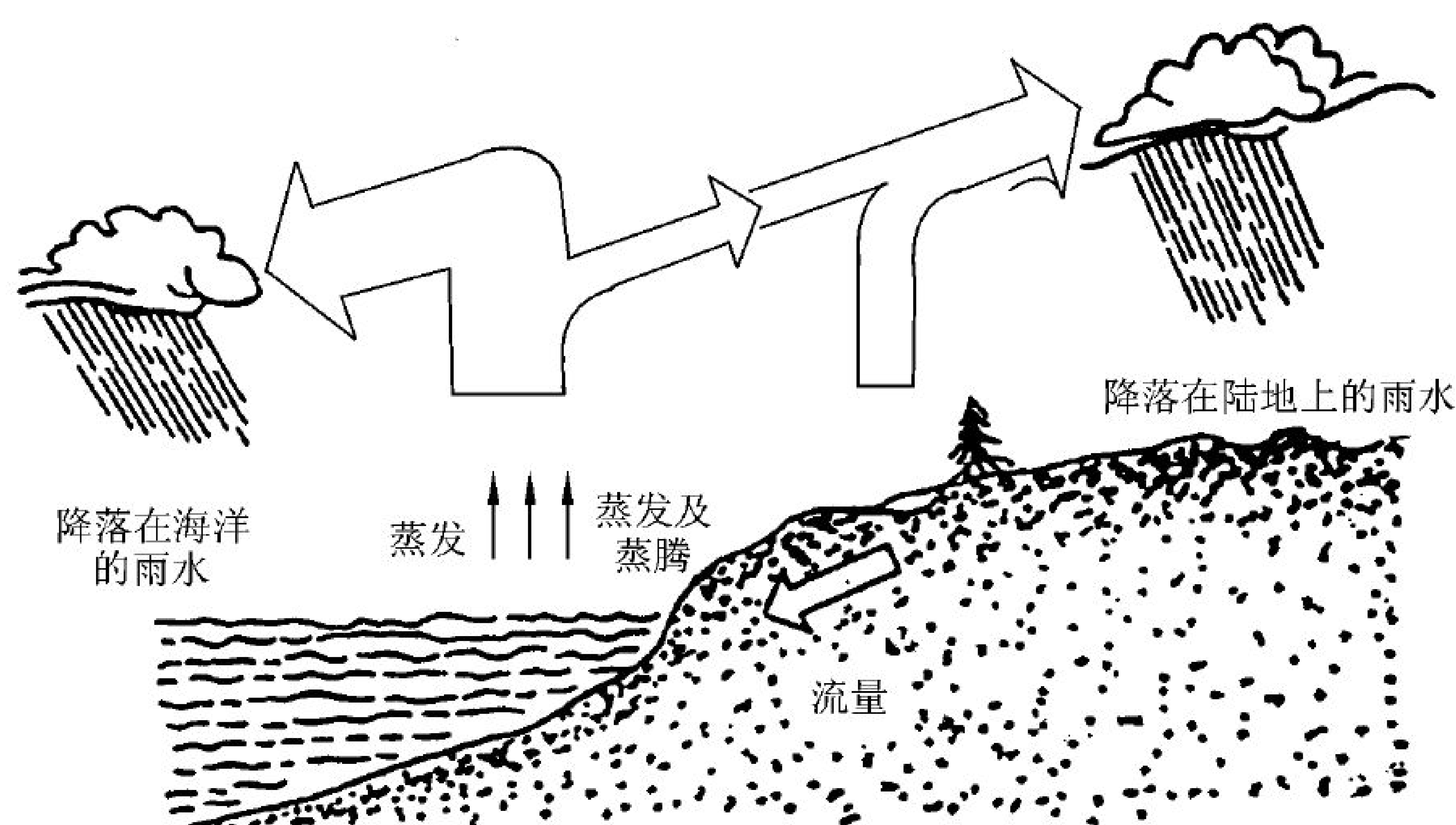


图 4-2　地球上水的循环过程(箭头宽度大致与比例相当)

解、也是人类历史上获得成就最大、涉及范围最广的,首推对水分条件的改善与调节。“风调雨顺”,“旱涝保收”,成为人们在农业上一直憧憬的愿望,而这些无一不是跟水的调节联系在一起。所以一个生态农业系统在调整、安排生产结构时,一定要把水资源情况作为一个最重要的限制因素加以考虑。

农作物所需的水分中,大约不超过总量的1%是光合作用所直接需要的,其余99%以上的水分,是被农作物进行蒸发和蒸腾所需要的。蒸发和蒸腾成为评价农作物水分条件,建立水量平衡和能量平衡方程的基本数值,也是评价农作物生产是否经济、用水是否科学的标准。

表4-1是不同农作物每生产1千克干物质所需要的水量。

由表4-1可见,C_4 植物的需水量只相当于 C_3 植物的一半左右。这可能是由于 C_4 植物固定 CO_2 的能力高,相应的生产率也高,生产等量的干物质所需的水量也就少。

表 4-1　不同农作物的需水量

光合系统	作物名称	需水量/千克
C_4 植物	黍　子	267
	玉　米	349
C_3 植物	大　麦	518
	小　麦	557
	稻	682
	棉	568
	稞　麦	644
	茄　子	487
	油　菜	714
	西　瓜	577
	黄　瓜	686
	紫苜蓿	844

注：C_3 植物，是在光合作用过程中，CO_2 中的 C 只被转移到 C_3 中；而 C_4 植物，在光合作用过程中，CO_2 中的 C 首先被转移到 C_4 中，然后再转移到 C_3 中，由此造成两者在光合作用上的区别，C_4 可以利用含量更低的 CO_2，更适应于高温，进化也更高等，产量也更高。

4.5　碳循环

碳是有机分子的基本成分，是一切生物的物质组成基础。有机体干重的 49％是碳。

在生态系统的各种循环中，碳循环是比较简单的一种。它是从绿色植物的光合作用固定大气中的二氧化碳开始的。绿色植物进行光合作用时，从大气或水中吸收二氧化碳，在光能的作用下，跟水化合形成碳水化合物。在通过草食动物、肉食动物和人的取食过程中，这些碳水化合物沿着食物链逐级移动，并被转变为其他形式的含碳

化合物。除了人和动物呼吸放出大量二氧化碳外,植物残体、动物和人的尸体及其排泄物,最终会被生态系统中的各种分解者所分解,也释放出二氧化碳,使碳重返大气之中。

大气中二氧化碳的含量大约为 0.032%,植物大约每年同化 105×10^{15} 克的碳,其中大约 32×10^{15} 克被植物呼吸归还到大气,余下的 73×10^{15} 克维持草食动物和碎屑食物链中的动物、细菌和真菌的呼吸和生产。陆地生态系统每年循环大气中大约 12% 的二氧化碳。

作为溶解气体储存在海洋中的二氧化碳超过了大气中二氧化碳总量的 50 倍,这一巨大的海洋蓄库在调节大气中二氧化碳方面,起了很大作用。

碳的另一重要蓄库是岩石(例如石灰岩)和化石燃料(包括泥炭、煤和石油等)。当这些化石燃料被燃烧时,它们也增加大气中的二氧化碳水平。但从数量上说,大气中大量的碳是通过分解有机物的细菌和真菌的活动释放出来的。煤、石油、木材以及其他含碳物质的燃烧放到大气中的二氧化碳加上动、植物呼吸时产生的合在一起也只占小部分。

此外,风化、火山活动以及碳酸岩的分解,把某些碳作为二氧化碳或碳酸返回大气。

近 100 年来,随着工业的发展,大量化石燃料的燃烧增加了大气中的二氧化碳含量,虽然工农业生产释放的二氧化碳速率与海洋的交换相比较还相当小,但空气中二氧化碳的含量却正在慢慢上升。100 年以前,空气中的二氧化碳的质量分数大约为 290×10^{-6},现在已上升到 320×10^{-6},而近 10 年的增长速度尤快。

图 4-3 为生物圈中碳循环的大致情况。①

① 图 4-3、图 4-4、图 4-6 引自福里赛尔 M J 主编. 农业生态系统中矿质养分的循环. 北京:农业出版社,1981.

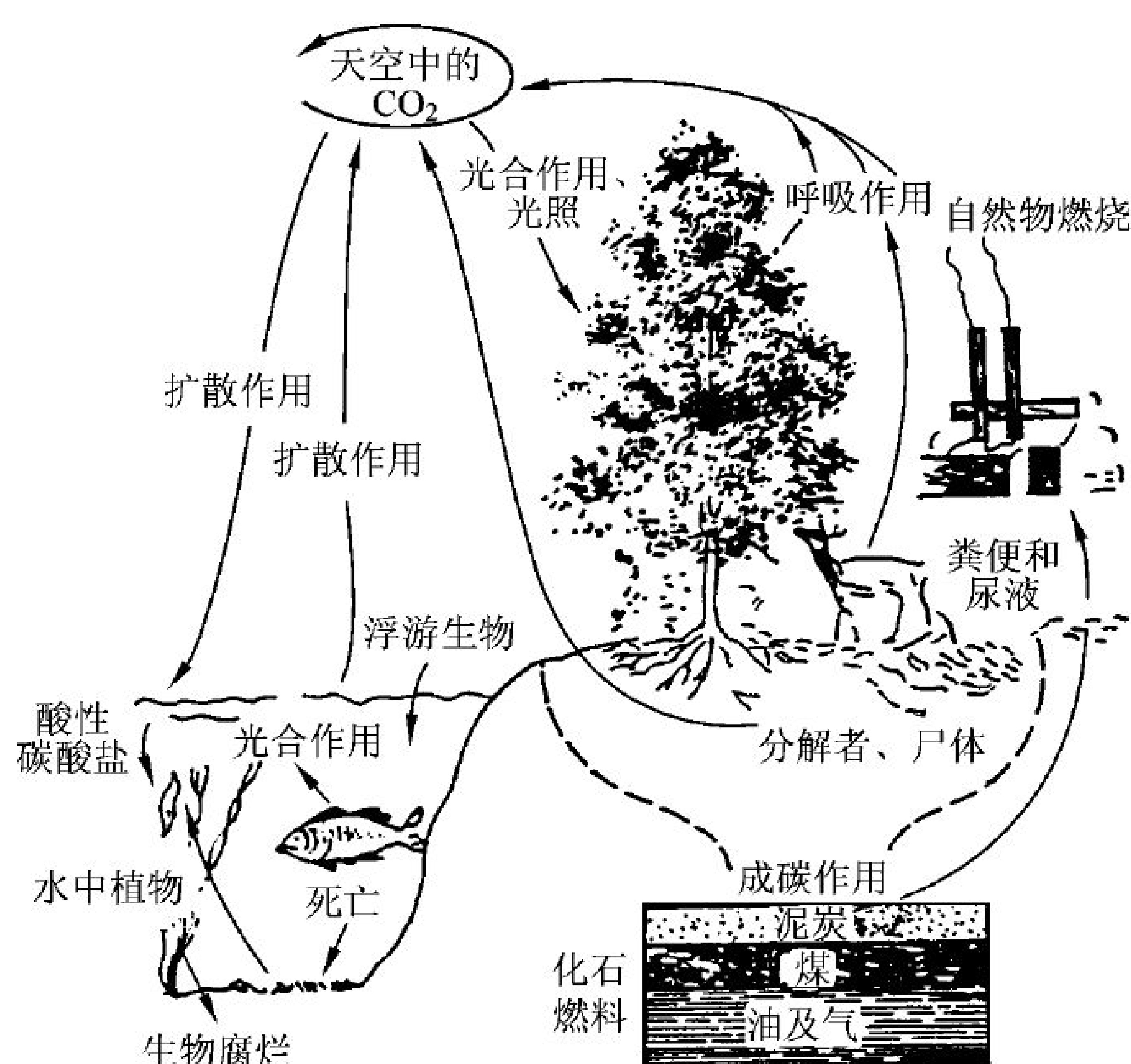


图 4-3　生物圈中的碳循环*

而通过各种渠道进入大气的二氧化碳，再被绿色植物重新吸收，又开始新的循环。

大气中二氧化碳含量的增加，可能引起的种种后果，已有过很多讨论。但对生态农业系统来讲，这种含量的增加，将对农作物的生产产生直接的和间接的两种作用。直接作用是将使绿色植物更好地利用光能，将光合作用提高到一个新的水平，并且更重要的是为 C_3 植物创造一个减弱光呼吸作用的条件，高二氧化碳浓度将有利于 C_3 植物净光合作用产物的积累。而间接作用则是通过二氧化碳浓度的增加，影响到天气、气候等基本环境要素，从而对农作物生长产生间接作用。

生态系统中碳的循环还受到季节和昼夜变化的情况。

季节的影响在北半球尤为明显，这是因为北半球陆地面积大，栖息生物种类繁多。当春季到来时，绿色植物的二氧化碳消耗量，大大超过了从土壤中释放的数量。这种消耗数量的增加，一直到大气同

温层底部的高处,仍可感测出来。从4月至9月,北纬30度以北地区的大气,其二氧化碳含量平均下降了3%,即大约40亿吨的碳从空气中消失了,这实际上意味着全被植物所固定了。

昼夜变化对碳循环的影响也是显而易见的,白天,绿色植物的光合作用使大气中的二氧化碳浓度降低;在夜间由于呼吸过程释放出的二氧化碳又使其含量增高。在植物群落密集的地区,二氧化碳含量的日变化率可达25%。这种变动可在地面上适当高度的大气中测定出来。

在密植作物的农田中,上层光线充足,但二氧化碳浓度相对较低;底层光线不好,光强显著变小,但二氧化碳浓度很高。因此,在农业生产中强调通风透光,对于弥补农田密植中的这种不足是很有益的。

最后,还需说明的是,生态系统中碳的循环,既包括气体阶段,也包括固体阶段。根据已有资料,碳归还生物圈和生物圈移走之间的数量上是大致平衡的。

4.6 氮循环

氮是植物生长发育不可缺少的、最重要的营养元素之一,氮素的调节也是人类历来影响农业生产最重要的手段。氮从各个方面直接或间接地影响着植物的代谢作用和生长发育。氮是植物体内多种有机化合物的重要成分,例如蛋白质中氮的含量平均占到16%~18%,而蛋白质又是构成原生质的基本物质。一切生命有机体,无论是植物还是动物,都处于蛋白质的不断合成分解之中,而正是这个过程才体现了生命现象。因此,氮素是一切生命有机体不可缺少的元素,如果没有了氮,也就没有了蛋白质,也就没有了生命。

而生命有机体中的一些其他重要化合物,例如核酸、酶、叶绿素也都是含氮化合物。

氮还是一些维生素和生物碱的构成成分,例如维生素 B_1、B_2、

B_6,烟碱,茶碱等,没有氮,这些化合物是无法合成的。

氮是大气中含量最丰富的气体,从体积上讲占79%,从质量上讲,大气中共含氮约 3.85×10^{21} 克。

氮的含量是如此之丰富,氮对生命有机体又是如此之重要,但遗憾的是氮并不能被大多数生命形式所直接利用。因此,对生态系统来说,大气中的氮蓄库并不是决定性的蓄库。而只有它的无机形式(氨、硝酸盐、亚硝酸盐)和有机形式(尿素、蛋白质和核酸)才是氮循环中决定性的氮储池(活动库)。大气中的氮只有被固定并成为这些无机和有机形式,才能被利用于生物过程。

在人类采用工业手段固氮以前,生物固氮作用是一个惟一的途径。就是在大量使用化学肥料的今天,生物固氮仍是一个重要的方面。据计算,来自岩石圈的智利硝石、鸟类和泥炭中的氮素,每年总量约100万吨,而生物固氮量每年约1亿吨,远远超过了全世界每年工业生产的氮肥,是化肥中氮量的2.5～3倍。在每一公顷农田的上空,大约有相当于7.8万吨的氮,但由于氮分子有相当高的键能,不易活化,故绝大多数的高等植物无法利用,只有某些特殊的具有固氮酶的微生物,才能把氮激活而生成 NH_3。这种自生固氮菌在自然界氮素循环中,每公顷每年可固氮2～3千克,最高可达5～6千克。正因为如此,不论在理论上还是实用上生物固氮都引起了科学家的极大关注。设想以遗传工程的理论和方法,将固氮菌有目的地移植在所需的作物上,已成为当代的尖端课题之一。

生物固氮的固定者是少数特殊的有机体——某些细菌和蓝藻。例如寄生在豆科植物根部的根瘤菌,能将空气中的氮转变为硝酸盐。100平方米面积的三叶草一年可将600千克的氮固定成硝酸盐。还有少数高等植物(胡秃子杨、赤柏、杨梅等)也有固氮能力,海藻和地衣具有共生的固氮细菌或蓝藻,固氮细菌广泛分布于自然生态环境。有人计算表明,全球每年大约有 175×10^{12} 克的大气氮被固定,其中

大约有一半是在农田被固定的。

而大多数植物并不具备固氮能力,它们只能从土壤中获得氮。土壤中的氮是落到土壤中的落叶、分泌物和死亡动、植物残体,经微生物把它们转变成相应的无机形式而被利用。

自然界氮的固定除了生物作用以外,还可通过闪电、阳光和其他化学过程产生,但其固氮总量不及生物固氮量的1/20!

大气中的氮一旦被固定,方可被植物所利用,而进入生态系统的氮循环。

生态系统中的氮循环也和碳循环一样,具有气体和固体阶段,但氮循环要远比碳循环复杂得多。氮通过生态系统的途径在若干重要方面和碳的途径不同。第一,大气中的巨大氮蓄库(N_2)不能被大多数有机体同化;第二,氮并不被直接包括在呼吸的化学释放中;第三,含氮有机化合物被破坏成无机形式需要经过许多步骤,其中有些只能由特定的细菌完成;第四,含氮化合物分解中涉及的大多数生物化学转变发生在土壤中。

在氮循环中,环境中的硝酸盐首先被植物吸收,建造成蛋白质以及其他复杂分子中的有机形式,从生产者传递到消费者,然后,当形成死有机废物时,被细菌和真菌等微生物进行分解。当氮从死有机废物中释放出来时,先转变成氨(NH_3),但氨不是土壤中的氮源,因为它在高浓度时对植物组织有伤害作用,并且在土壤中不能持久,氨很易溶解于水,而迅速被淋洗出土壤。只有当氨被亚硝酸盐细菌转变成亚硝酸盐,以后又被硝酸盐菌氧化成硝酸盐时,便立即被植物的根部同化。硝酸盐通过反硝化细菌的脱氮作用,又返回大气,成为大气氮,从而完成氮循环。图4-4为生态系统中氮循环的大致情况。图4-5为陆地氮循环的生物过程。

至此,我们可以将氮循环中所涉及的三种特殊过程总结如下:

① 固氮作用,将大气氮转变为硝酸盐,由物理—化学过程(闪电固氮)和微生物(生物固氮)完成。

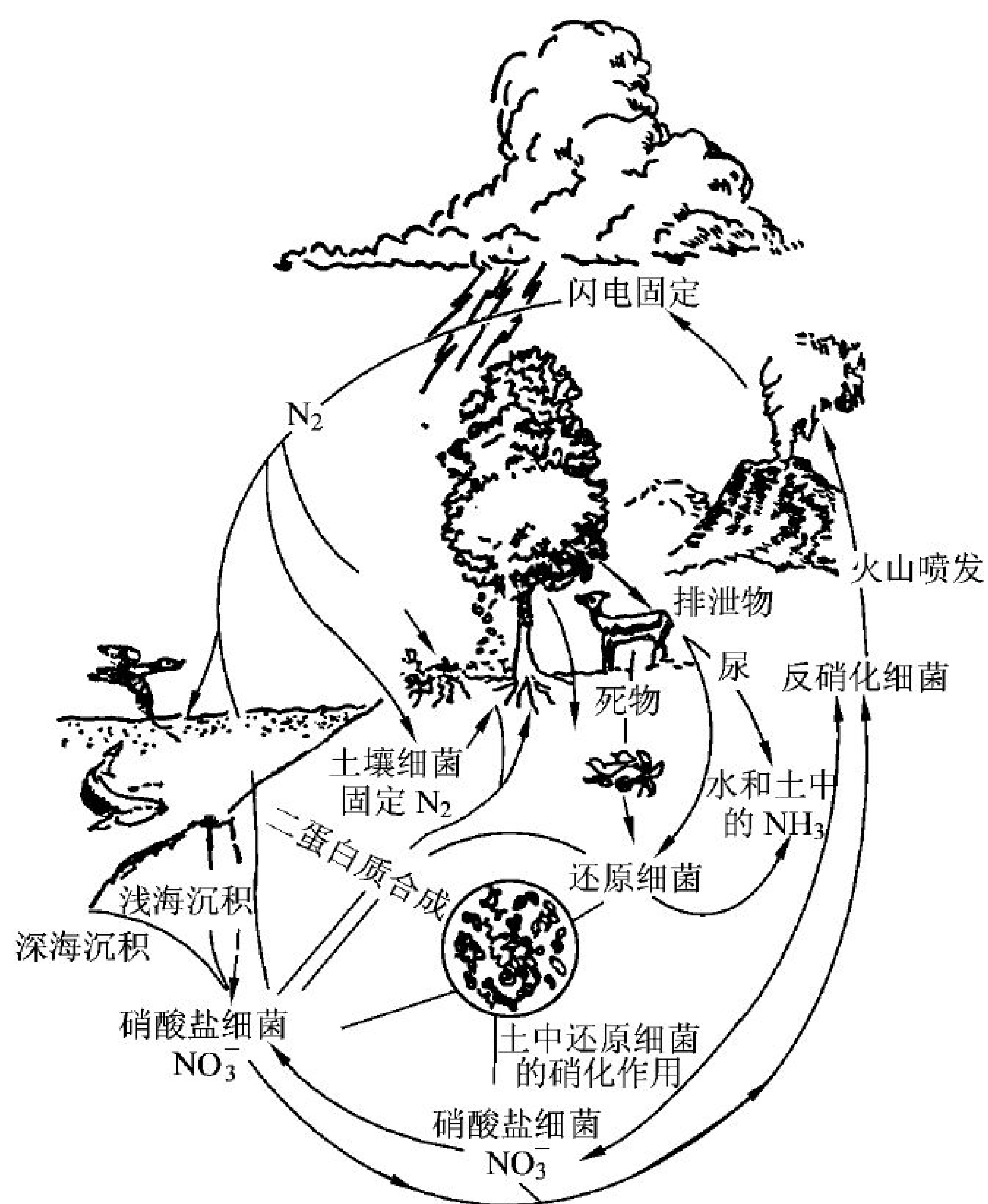


图 4-4 生态系统中氮的循环

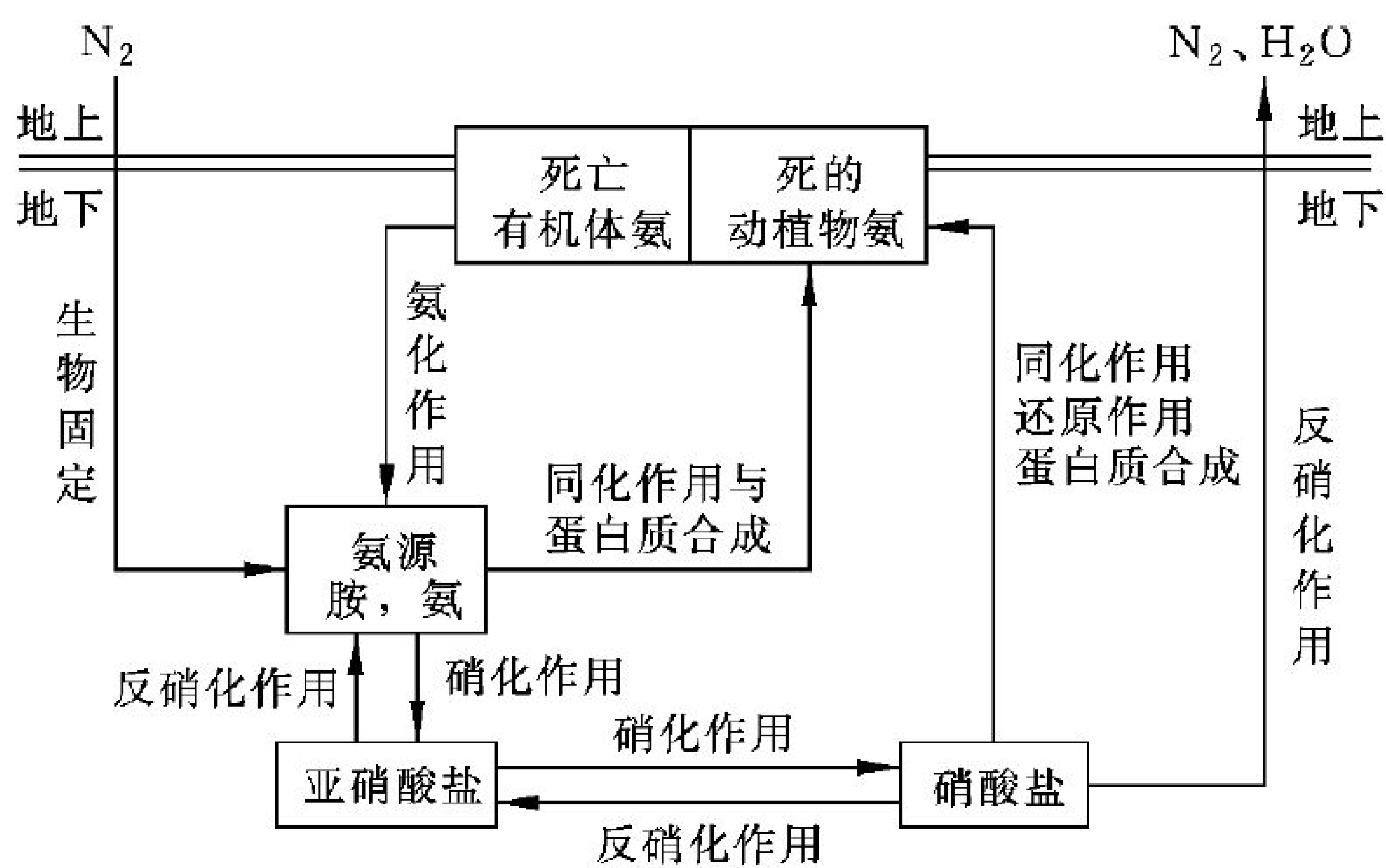


图 4-5 陆地氮循环的生物过程

② 化氨作用,将有机氮化合物转变成氨和氨化合物,由腐败细菌和真菌完成。

③ 反硝化(脱氮)作用,将硝酸盐转变成大气氮,由反硝化细菌完成。这是一个十分重要的过程,假如没有反硝化,那么许多大气氨将会贮藏于海洋中或者沉积物中,其后果必然是改变了现今大气的组成和稳定。

氮循环的正常进行对于生态系统是十分关键的,氮循环所涉及的任何细菌种群如果受到伤害,即会使循环瓦解。在生态农业系统中人类大量使用化肥,以及城市排放大量废物时,都会引起硝酸盐的过剩。硝酸盐过剩的后果,一方面是刺激水生植物的繁茂生长,从而可能倾覆整个系统;另一方面,硝酸盐离子十分有毒,受到硝酸盐污染的水体,作为饮用,将危害人类的健康。

4.7 磷循环

磷在植物体内的含量仅次于氮和钾,是作物生长发育最重要的营养元素之一,无论是植物还是动物都离不开磷。植物体内的许多重要有机化合物例如核酸、细胞膜都含有磷,即使一些化合物不含有磷,但其在形成过程中也都有磷参加。

而动物体内骨骼和牙齿的主要成分则是磷,因而它对于所有生物细胞是不可缺少的。

在生态农业系统中,磷除了作为动、植物机体的组成部分而显示出其重要性外,还在其他方面也充分表现出它是不可缺少的,例如:

① 磷是各种代谢过程的积极参加者。它参与酶类、含氮化合物、脂肪等的代谢作用。比如在碳水化合物的代谢过程中,磷酸首先参与光合磷酸化作用,将太阳能转变为化学能形成最初的光合作用产物。而其后,简单的碳水化合物,在植物体内运输并进一步合成糖、淀粉及多种糖类化合物如纤维素,也都需要磷参加。如果缺少了

磷,一系列的转化过程和合成作用就无法进行。

② 磷能使植物提高抗逆性和适应外界环境条件的能力。合理施用磷肥,可促进植物根系发育,提高作物抗干旱的能力以及抗寒能力,促进植物的生长发育,保证农业丰收。

此外,在其他方面,磷的作用也十分重要,例如在许多水生环境中,磷是限制植物生产力的主要因素。以污水和施肥农地的径流形式流到河流和湖泊中的磷,将刺激水生生物的生长。有机体需要磷的数量大约是需氮量的1/10。

磷的主要储存库是岩石和天然磷矿,鸟粪和动物化石中也含有磷。由于风化作用、侵蚀作用以及人们的采矿活动,磷被释放出来,并溶于水中,形成可溶性磷酸盐,随地表径流最后流入海洋。植物是直接从土壤和水中吸收磷酸盐的,并经由草食动物、肉食动物和人而产生循环。动、植物死亡后,机体内磷的有机化合物被细菌分解为无机的磷酸盐,然后重新被植物吸收、结合进入新的原生质,又开始了新一轮的循环。

磷没有挥发形式,没有任何气态或蒸气态的化合物参加循环,因此和以上所讨论的碳和氮的循环不一样,是比较典型的沉积循环类型。磷的循环只涉及生态系统的土壤和水,从陆地到海洋中的磷,就停留在深海沉积物中,从而结束循环,一直到地质活动把它再抬升出来。虽然通过海鸟的排泄物或被人类捕捞的鱼,有部分磷酸盐返回到陆地,但大多数损失掉了,所以磷循环的总趋势是陆地上的磷越来越少,海洋中的磷越来越多。图4-6是陆地生态系统中磷的循环,图4-7为全球规模的磷循环。

在生态系统中,磷不仅作为一种营养元素参加了物质流动,同时由于磷参与了光合作用,所以也参加了能量的积累和流动。因此,生物体对磷的需要量是很大的。例如,根据测定,1公顷草场含有五氧化二磷(P_2O_5)65千克。而2头奶牛1年内所产的牛奶中,含磷量即可达15千克。也就是说,在草场生态系统中,大约经过4年的时

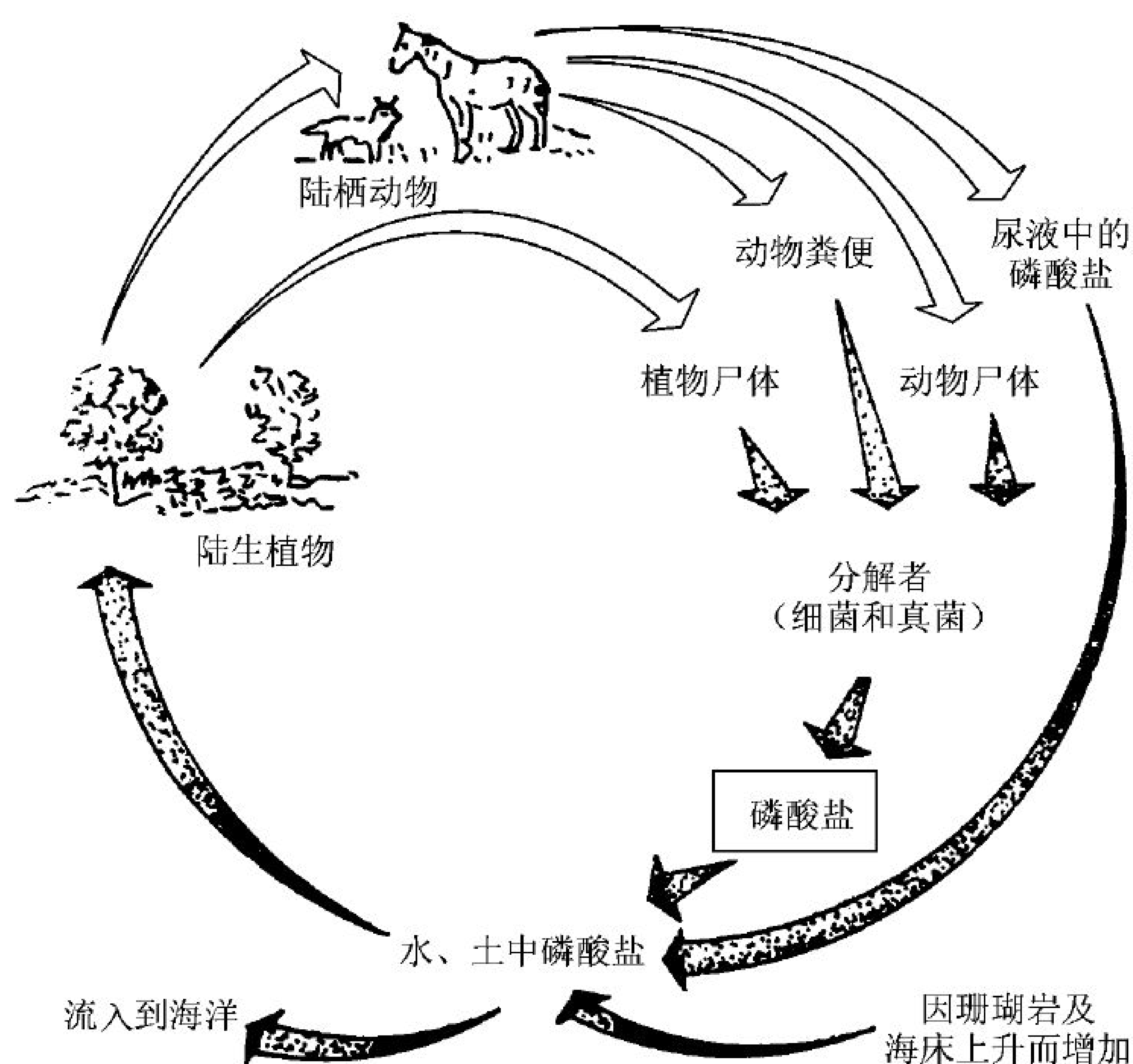


图 4-6　陆地生态系统中磷的循环

间,就会把草场中的磷通过土壤→牧草→奶牛→牛奶这一连串的过程而全部携走。因此,农牧业上,合理增加磷肥,显然是一个十分重要的问题。

十分有趣的是,在海洋生态系统中,有一种叫肋贝的软体动物,它每天可从海水悬浮颗粒中移走大约1/3的磷,即大约3天就可以使海水悬浮颗粒中的磷周转一次。这些磷大部分又被肋贝吐出,沉淀于海底。然后被吃底泥的动物所利用,这些动物又把磷酸盐释放到生态系统中去。肋贝在能量流动中的作用虽微不足道,但它在物质循环中却发挥了重要作用。

对于生态农业系统来说,由于产品的出售,往往造成磷的短缺,而必须适时加以补充。由于磷是农作物生长所必需的三大营养要素之一,特别是磷的缺乏,使氮的肥效也将大为降低。可是在一般情况下,由于磷的缺乏不像氮的缺乏那样对作物生长的影响明显,因此常

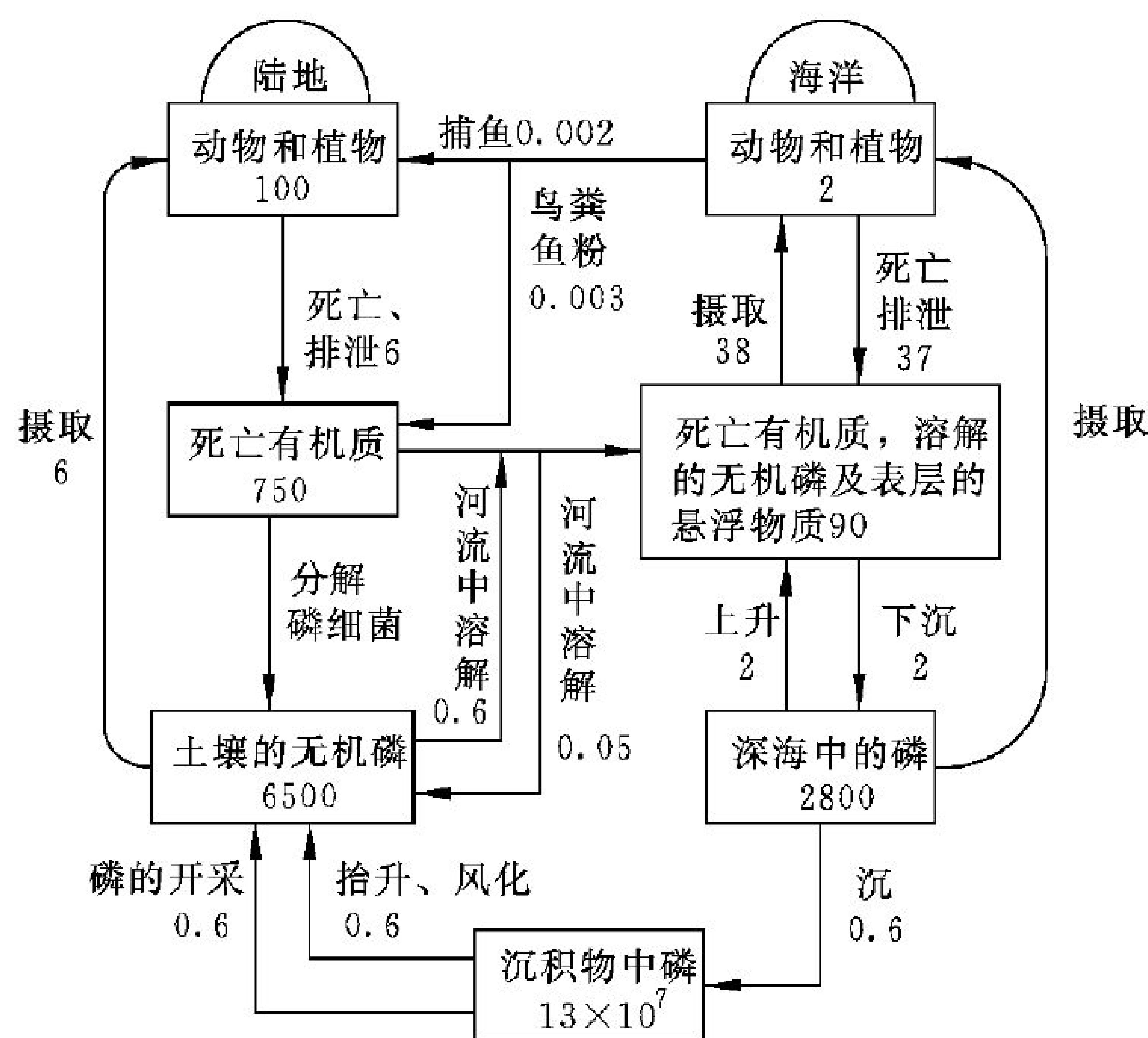


图 4-7 全球规模的磷循环（方框内数字为储存量，单位：C×10^{12}摩尔/升；箭号为流动方向及数量，单位：×10^{12}摩尔/升）

使磷的适时补充得不到重视，比如我国的磷肥生产和使用远低于应有的水平，普遍表现出氮多磷少的状况，使得农业生产的发展，产量的提高受到一定的影响。当然也不是说施磷越多越好，磷肥的过量会造成作物呼吸强烈，能量和糖分的消耗增大，使谷类作无效分蘖，叶肥厚而密集，节短且植株矮小，生长受到抑制。而且磷肥的过多影响其他养分的吸收，因此必须强调合理地使用磷肥。

此外，许多环境因素影响植物对磷的吸收利用，也需要加以注意。比如在有大量溶解氧的情况下，磷很容易形成不溶解的化合物，沉淀出来；在碱性条件下，磷酸盐离子（PO_4^{3-}）很容易与钠离子结合，形成不溶解的化合物；在酸性条件下，磷酸盐又被转变成高度可溶的磷酸，被淋洗损失。同时，在酸性环境中，铝、铁、锰成为溶解状态，并具有化学活性，它们形成络合物而将磷束缚，从养分的储池中移走。

我国南方红黄土壤地区土壤中普遍缺磷,就是这个原因。

最后,再简要说一说磷与富营养化的问题。

生态学家根据养分的含量和有机生产力,将自然水体分成两类:贫养和富养的。贫养的河流和湖泊养分含量低,水清洁,但生产力也低。富养的水体养分丰富,维持着丰富的动植物区系,由于有很高的生产力,往往成为很好的渔场。

富营养化现象,即水体由贫养变为富养的情况,这本身并不构成水生生态系统的重要问题。因为天然的富营养系统通常是很好地平衡的,只有人为的引起养分的增加才会导致生态系统中破坏性的不平衡。结果水中大量缺氧,造成鱼类和其他水生生物的窒息死亡。科学的研究证明,磷是引起水体富营养化的最重要因素。

4.8 氧循环

生态学家对氧的循环远不如对其他较稀有的养分——碳、氮、磷等的循环那么重视,但氧的循环却表现出生态系统中养分循环的基本特征。

氧是大气中仅次于氮的最丰富的元素,占大气组成的21%,总含量约为1.1×10^{21}克。陆地环境中氧的含量也十分丰富,大都被束缚在水分子、矿物氧化物以及盐类中,但这一巨大氧库不能被生态系统直接利用。

氧循环是比较简单的循环。它首先通过动、植物和微生物的呼吸作用从大气中取出,再通过绿色植物的光合作用归还大气。绿色植物大约每年释放2.7×10^{17}克的氧,这一数量相当于大气中氧含量的1/25000。

综上所述,我们可以看到,有机体维持生命所需要的基本元素(碳、氮、磷、水、氧等)大都是先以矿物质形式(CO_2,H_2O,NO_3^-,PO_4^{3-} 等)被植物从空气中、土壤和水中吸收,然后以有机分子的形

式,从一个营养级传递到下一营养级。当动、植物有机体被分解者分解时,它们又以矿物养分的形式归还到空气、水和土壤中,被植物吸收再一次利用,这样矿质养分在生态系统内一次又一次地循环,推动着生态系统持续正常地运转。

正如前面已讨论的,生态农业系统中的物质循环和能量流动是不同的,它们有着本质的差别。然而,它们又是紧密结合,不可分割的,共同体现了生态系统的基本功能。

生态系统的生物和非生物成分之间,通过能量流动和物质循环而联结,形成一个互相依赖、互相制约、环环相扣、相生相克的网络状复杂关系的统一整体。生物在能流和物流的各个环节上都起着深远的作用,不论哪一个环节上出现了问题,都会发生连锁反应,致使能流受阻,物流中断,导致生态平衡的破坏。

总之,生态系统的存在和发展是由不断的能量流动和物质循环来维持的。要使生态系统保持稳定,最基本的一条,应该是从生态系统中拿走什么,那就要在适当的时间归还什么。保持“等量交换”这一基本原则,维持生态系统的收支平衡。否则,物质的长期短缺和过多的富集,都会使生态系统的基本功能受到损害,甚至崩溃。

地球上的一切生命,包括我们人类在内,都依赖于生态系统的能量流动和物质循环。因此,为了人类的生存和发展,就应采取积极措施,促进生态系统的两大洪流——能流和物流在系统内的畅通,加快流动,加大流量,让丰富而又有限的生态系统发挥最大的经济效益,永远为人类造福。

5 生态农业的主要技术类型

应用生态学原理，根据当地的自然条件、生产技术和社会需要，可以设计、组装出多种多样的生态农业系统。

有哪些生态学原理可以应用于农业生产？可以说所有已知的生态学原理，包括相生相克作用，都能够直接或间接地应用于农业生产，但最基本的有以下三条：

① 生态农业是个整体，它包括种植业、畜牧业、水产业、林果业及加工业，它们相互配合，相互协调，按一定的次序组成一个整体，即形成一个复杂的生产体系，而每一个单项则是这个生产体系的一部分。

② 物质的正常代谢是维持农业系统稳定的基础。农业生产中经济效益和生态效益的大小，物质、能量转化效率的高低是决定因素。只有充分熟悉并掌握了种植、放养、施肥等时间因素，并科学地安排农业生产结构和多层次利用，使物质循环和能

量流动正常进行,才能实现生物资源再生和生态环境的良性循环。

③ 只有保持系统输入和输出的平衡,才能维持正常代谢的进行。生物的生长发育与繁殖需要不断从它的周围环境中吸取它所必需的物质,不停地影响着环境。而受生物影响的环境,特别是土地环境,又反过来作用于生物。所以,要使生物的生活环境经常满足生物的生活要求,必须适时补充环境所失去的物质,维持整个系统的活力。

以上三个原理概括起来,就是:系统各种成分相互协调与补充的整体原则;物质循环不息的再生原则;物质输入与输出的动态平衡原则。从而可以看出,生态农业是以整体效益为目标,通过技术组配的生产链,充分发挥生物与环境生产潜力的协调来发展农业,即生态工程系统在农业生产上的应用。

近年来不少人把生态农业与国外推行的有机农业等同起来,也有人把它看成封闭式、传统的自给自足性质的古老农业的再现,这都是不对的。生态学是研究包括人类在内的生物与环境相互关系的科学,生态系统是生态学研究的前沿,生态农业是以生态系统原理为依据而设计的农业生产方式。“整体”、“协调”与“再生”是设计生态农业所依据的基本原则。因此,我们在研究、分析、设计、组装一个生态农业系统时,都必须充分考虑和努力利用这些基本原理,达到提高效益、保护资源、保护环境、发展生产的目的。

下面介绍的是我国常用的、具有一定代表性的生态农业技术类型。

5.1 充分利用空间和土地资源的农林立体结构生态系统类型

该类型是利用自然生态系统中各生物种的特点,通过合理组合,建立各种形式的立体结构,以达到充分利用空间,提高生态系统光能

利用率和土地生产力,增加物质生产的目的。所以该类型在空间上是一个多层次和时间上多序列的产业结构。按照生态经济学原理使林木、农作物(粮、棉、油)、绿肥、鱼、药(材)、(食用)菌等处于不同的生态位,各得其所、相得益彰,既充分利用太阳辐射能和土地资源,又为农作物形成一个良好的生态环境。这种生态农业类型在我国普遍存在,数量较多。大致有以下几种形式:

各种农作物的轮作、间作与套种

农作物的轮作、间作与套种在我国已有悠久的历史,并已成为我国传统农业的精华之一,是我国传统农业得以持续发展的重要保证。由于各地的自然条件不同,农作物种类多种多样,行之有效的轮作、间作与套种的形式繁多,无法一一述及,这里只列出几种类型,以供参考。

(1) 豆、稻轮作

豆、稻轮作可以有效地改变一般双季稻、绿肥轮作因土壤长期湿润造成的通气性差,微生物活动弱的状况,使土壤的理化性能和微生物活动情况有所改善。此外大豆根瘤的固氮作用能使农田的养分循环状况大大改善,不仅减少了化肥用量,而且提高了稻谷产量。一般一公顷豆、稻轮作田比一公顷双季稻、绿肥轮作田每年可增产稻谷约705千克。

(2) 棉、麦、绿肥间套作

具体做法:秋耕时作畦挖沟,畦宽2.4米,沟深26厘米。畦中播小麦,畦边各点播一行蚕豆,麦、豆间的空闲处种冬绿肥。次年4月中旬将绿肥深埋,用地膜播种棉花,每畦条播4行棉花,小行距53厘米,大行距79厘米,株距20厘米。一般每公顷农田可收小麦3000千克,鲜绿肥(1～1.5)万千克,皮棉750千克以上。

(3) 棉花、油菜间作

具体做法：每隔 8 行棉花种 1 行油菜(油菜、棉花同时下种)。

棉花、油菜间作可以有效地控制棉花的病虫害,减少农药用量,同时还能有效地招引和保护多种益虫,保证棉花的高产。

(4) 甜叶菊、麦、绿肥间套作

这种栽培方式的做法是：秋耕时整地作畦,畦宽 2.4 米,沟宽 26 厘米;畦面上种两条元麦,播幅 30 厘米;两条麦间和两边种 3 条绿肥,绿肥播幅各为 60 厘米;沿沟边种 1 行蚕豆。10 月底将甜叶菊根茬在塑料薄膜覆盖下保存,保持土壤湿润。次年春季在根茬上长出新枝芽,待苗长到 40 厘米左右时,分枝套栽于大田。套栽前掩埋绿肥。3 条绿肥地栽 6 行甜叶菊,分大小行套栽,大行距 60 厘米,小行距 30 厘米(麦行处于大行距,原绿肥处于小行距),株距 13 厘米。8 月上旬甜叶菊现蕾时收割第一刀,9 月上旬收割第二刀,10 月底收割第三刀。一般头刀产干叶 750 千克/公顷左右,二刀产 225 千克/公顷^2 左右,三刀产 180 千克/公顷^2 左右。

这样的种植方式,使全年均有作物在田里生长,绿肥又可肥田,因而土地利用充分,总体效益较高。

农林间作

农林间作是充分利用光、热资源的有效措施。我国采用较多的是桐粮间作和枣粮间作,还有少量的杉粮间作。

(1) 桐粮间作

桐粮间作主要分布于华中、华北等省,如河南省已推广 200 多万公顷。调查表明,每公顷间作 75～120 株泡桐的间作田比单种小麦田可增产小麦 17%。桐树生产长快,7～8 年即可成材,是出口的畅销物资。每公顷间作田的经济收益可比单作农田高 4500 元左右。

(2)枣粮间作

枣粮间作主要分布在我国旱、涝、碱灾较频繁的山东省东北部和河北省东部。枣粮间作的形式各地有所不同,常见的有三种:

一是以枣树为主的间作,每公顷枣树在300株以上;

二是枣粮并举的间作,每公顷枣树不超过300株;

三是以农作物为主的间作,每公顷枣树不超过150株。

粮田间作枣树,既有利于作物的生长发育,又提高作物产量,加上枣果,所以经济效益十分明显。

林、药间作

此种间作主要有吉林省的林、参间作,江苏省的林下栽种黄连、白术、绞股蓝、芍药等的林、药间作。

林、药间作不仅大大提高了经济效益,而且塑造了一个山青林茂、整体功能较高的人工林系统,大大改善了生态环境,有力地促进了经济、社会和生态环境向良性循环发展。

除了以上的各种间作以外,还有海南省的胶、茶间作,种植业与食用菌栽培相结合的各种间作如农田种菇、蔗田种菇、果园种菇等等。

农林立体种植结构,大大提高了太阳能的利用率和土地生产力,是我国生态农业建设过程中的一种主要技术类型,也是值得大力推广的一种生产方式。

5.2 物质能量多层分级利用系统型

模拟不同种类生物群落的共生功能,包含分级利用和各取所需的生物结构。此类系统可进行多种类型和多种途径的模拟,并可在短期内取得显著的经济效益。图5-1是利用秸秆生产食用菌和蚯蚓

等的生产设计①。秸秆还田是保持土壤有机质的有效措施。但秸秆若不经处理直接还田,则需很长时间的发酵分解,方能发挥肥效。在一定条件下,如果利用糖化过程先把秸秆变成饲料,而后用牲畜的排泄物及秸秆残渣来培养食用菌;生产食用菌的残余料又用于繁殖蚯蚓,最后才把剩下的残物返回农田,收效就会好得多。虽然最后还田的秸秆有机质的肥效有所降低,但增加了生产沼气、食用菌、蚯蚓等的直接经济效益。

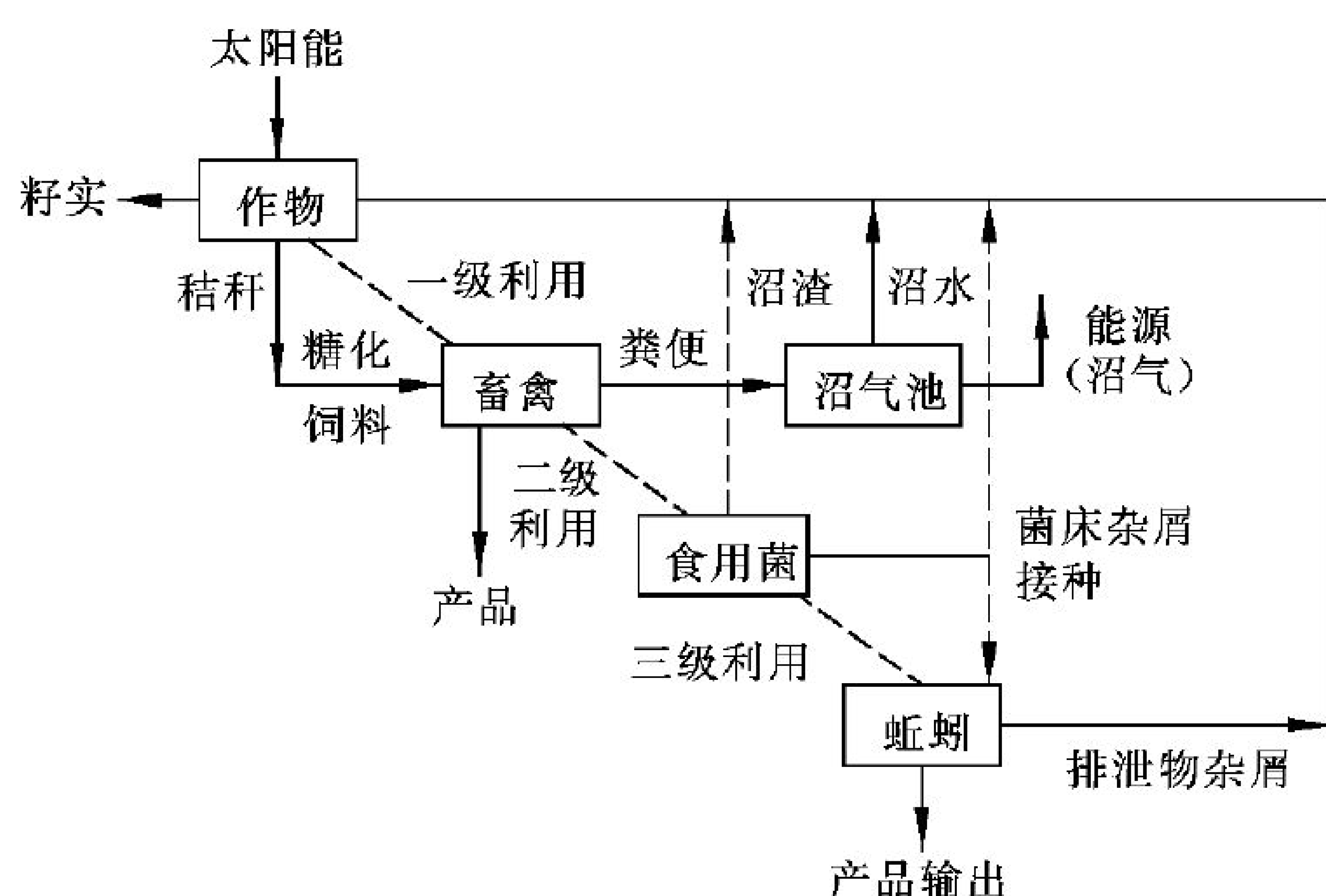


图 5-1　作物秸秆的多级利用

5.3　水陆交换的物质循环生态系统

食物链是生态系统的基本结构,通过初级生产、次级生产、加工、分解等完成代谢过程,实现物质在生态系统中的循环。桑基鱼塘是比较典型的水陆交换生产系统(图 5-2),是我国广东省、江苏省农业

① 图 5-1～图 5-4 引自马世骏等著《中国的农业生态工程》.北京:科学出版社,1987 年.

生产中多年行之有效的多目标生产体系。目前已成为较普遍的生产农业类型。该系统由两个或三个子系统组成,即基面子系统和鱼塘子系统。前者为陆地系统,后者为水生生态系统,两个子系统中均有生产者和消费者。第三个子系统为联系系统,起着联系基面子系统和鱼塘子系统的作用。桑基鱼塘是由基面种桑、桑叶喂蚕、蚕沙养鱼、鱼屎肥塘、塘泥为桑施肥等各个生物链所构成的完整的水陆相互作用的人工生态系统。在这个系统中通过水陆物质交换,使桑、蚕、鱼、菜等各业得到协调发展,桑基鱼塘使资源得到充分利用和保护,整个系统没有废弃物,处于一个良性循环之中,因而保证可以取得极好的经济效益。据江苏省的调查统计,太湖流域的桑基鱼塘每公顷产桑叶(1.5～2.25)万千克,可养蚕产茧1200～1800千克,如果再加上蚕桑所提供的饲料和肥料,则每公顷桑基鱼塘可产鱼1830～2350千克。

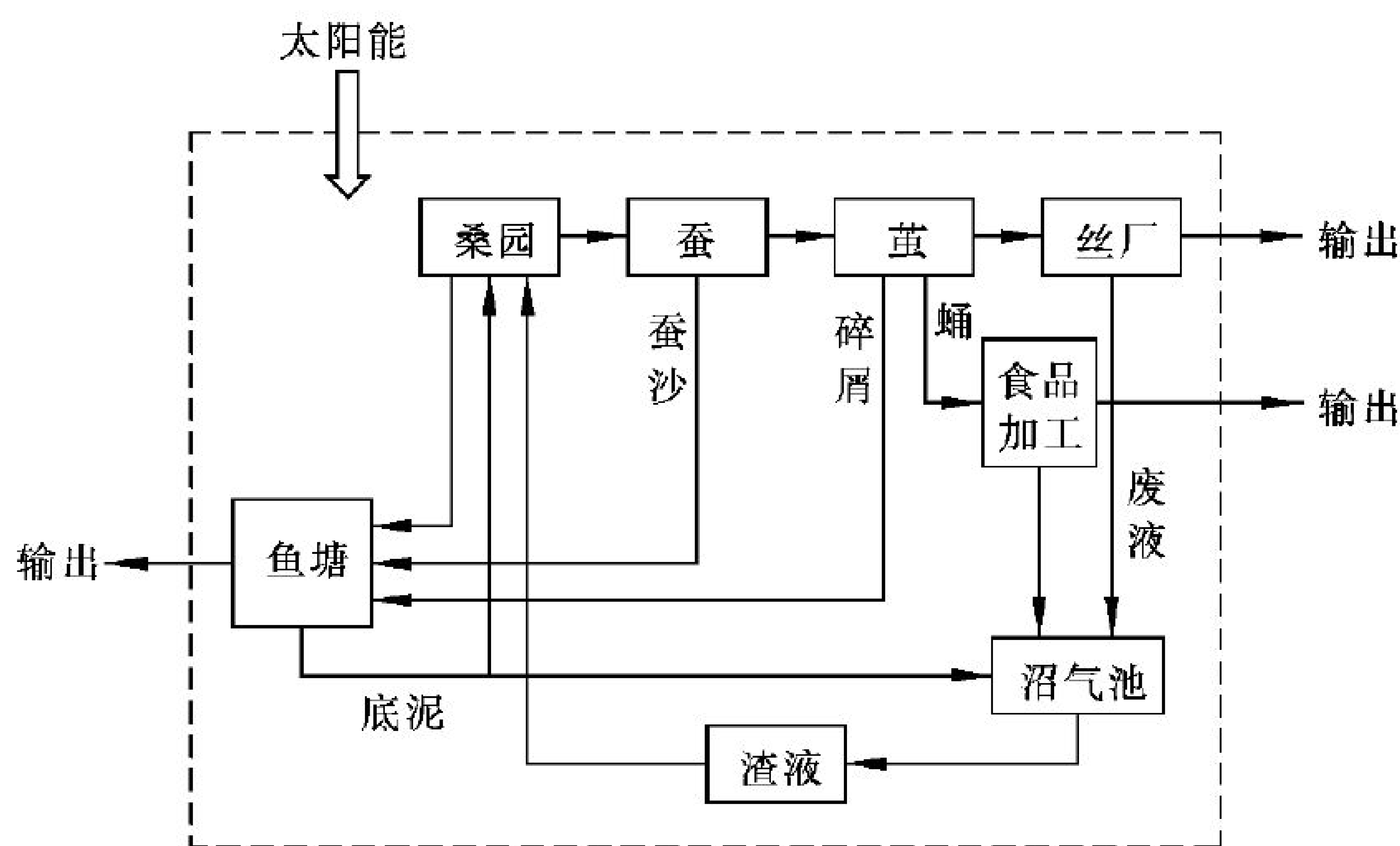


图5-2　桑基鱼塘—水陆交换生产系统示意图

5.4　相互促进的生物物种共生生态系统类型

该模式是按生态经济学原理把两种或者三种相互促进的物种组合在一个系统内,使物质之间存在互惠互利关系,达到共同增产,改善

生态环境,实现良性循环的目的。这种生物物种共生模式在我国主要有稻田养鱼、鱼蚌共生、禽鱼蚌共生,稻—鱼—萍共生、苇—鱼—禽共生、稻鸭共生等多种类型。其中稻田养鱼在我国南方和北方都已得到较普遍的推广,具体做法是:在水稻插秧返青后,稻田灌水,放入一定量的食草鱼苗,在进行晒田或施肥、病虫害防治等管理时,使鱼苗随水进入事先挖好的鱼沟内,收稻时先把长大的鱼捞出,再转入精养鱼塘。在养鱼的稻田中,水稻为鱼提供遮荫、适宜水温和充足饵料,而鱼为稻田除草、灭虫、充氧和施肥,使稻田的大量杂草、浮游生物和光合细菌转化为鱼产品。稻、鱼共生互利,相互促进,形成良好的共生生态系统。这不但促进了养鱼业的发展,而且也提高了水稻产量,减少了化肥、农药、除草剂的施用量,提高了土壤肥力。据江苏省盐城市大纵湖乡陈村三组统计,稻田养鱼 250 公顷,平均每公顷水稻产量达 7.9 吨,比照稻田增产 1.13 吨,增产 15.2%;养鱼 76 天,收鱼 1.3 万尾每公顷。又如,江苏响水县小尖镇四丰村从 1982 年起在 37 公顷盐碱地栽植耐盐作物浅水莲,建立了莲—鱼—禽共生系统,实行生物综合治理盐碱地,取得明显的经济效益和生态效益。1983 年收集浅水藕,产值 4.3 万元,纯收入 3.4 万元,是同年水稻产值的 2 倍,同时,也取得了治碱改土的良好效果。

5.5 农—渔—禽水生生态系统类型

该生态系统是充分利用水资源优势,根据鱼类等各种水生生物的生活规律和食性以及在水体中所处的生态位,按照生态学的食物链原理进行组合,以水体立体养殖为主体结构,以充分利用农业废弃物和加工副产品为目的,实现农—渔—禽综合经营的生态农业类型。这种系统有利于充分利用水资源优势,把农业的废弃物和农副产品加工的废弃物转变成鱼产品,变废为宝,减少了环境污染,净化了水体。特别是该系统再与沼气相联系,用沼气渣液作为鱼的饵料,使系统的产值

大大提高,成本更加降低。这种生态系统在江苏省太湖流域和里下河水网地区较多。例如:无锡市郊河埒养殖场、吴县黄桥乡张庄村、建湖县庆丰乡董徐村、东台市水产养殖场、海安县鱼种场、吴江县桃源乡水产养殖场等都是这种生态类型的典型例子,其经济效益和环境效益均明显提高。又如:吴江县桃源乡水产养殖场利用水资源优势,按照生态学原理大力发展水产养殖业,实行立体养殖。几年来,他们共建精养鱼池10个,面积5.5公顷;在池埂上栽种苏丹草、黑麦草作鱼类饵料,并在鱼池周围栽种柑橘、桃、梨树,以及间作蔬菜、豆类、黑麦草等。他们还利用菜籽饼、猪粪、“三水”植物作为猪、鱼饵料,塘泥和猪粪又用来肥田,既促进了果、鱼、猪业发展,又培肥了土壤,实现水生生态系统的良性循环,1986年水面产鱼8475千克/公顷,年总产量4.6万千克,全场总产值达12.5万元,纯利润4.2万元,人均收入达1500多元,全村呈现粮丰、鱼跃、各业兴旺发达的景象。

5.6 多功能的污水自净工程系统

在发育正常的自然生态系统中,同时进行着富集与扩散、合成与分解、颉颃与加减等多种调节,控制作用过程。在通常情况下,自然生态系统内部不易出现由于某种物质的过多积累而造成系统崩溃或主要生物成分的大量死亡,这是由于系统本身就拥有自行解毒的“医生”(微生物)和解毒的工艺(物理的、化学的)过程。即使由于某种物质过分积累,破坏了系统的原有结构,亦会出现适应新情况的生物来更新。模拟此种复杂功能的工艺体系,应是今后解决工业废水污染的重要途径。图5-3是这类原理的应用模式之一,包括相互交错的食物链和三个方向的物流与能流,以及不同性质的输入与输出。

此类工程系统的应用实例参见本书7.2.4节:生态学原理的巧妙应用——辽宁省大洼县西安生态养殖场。

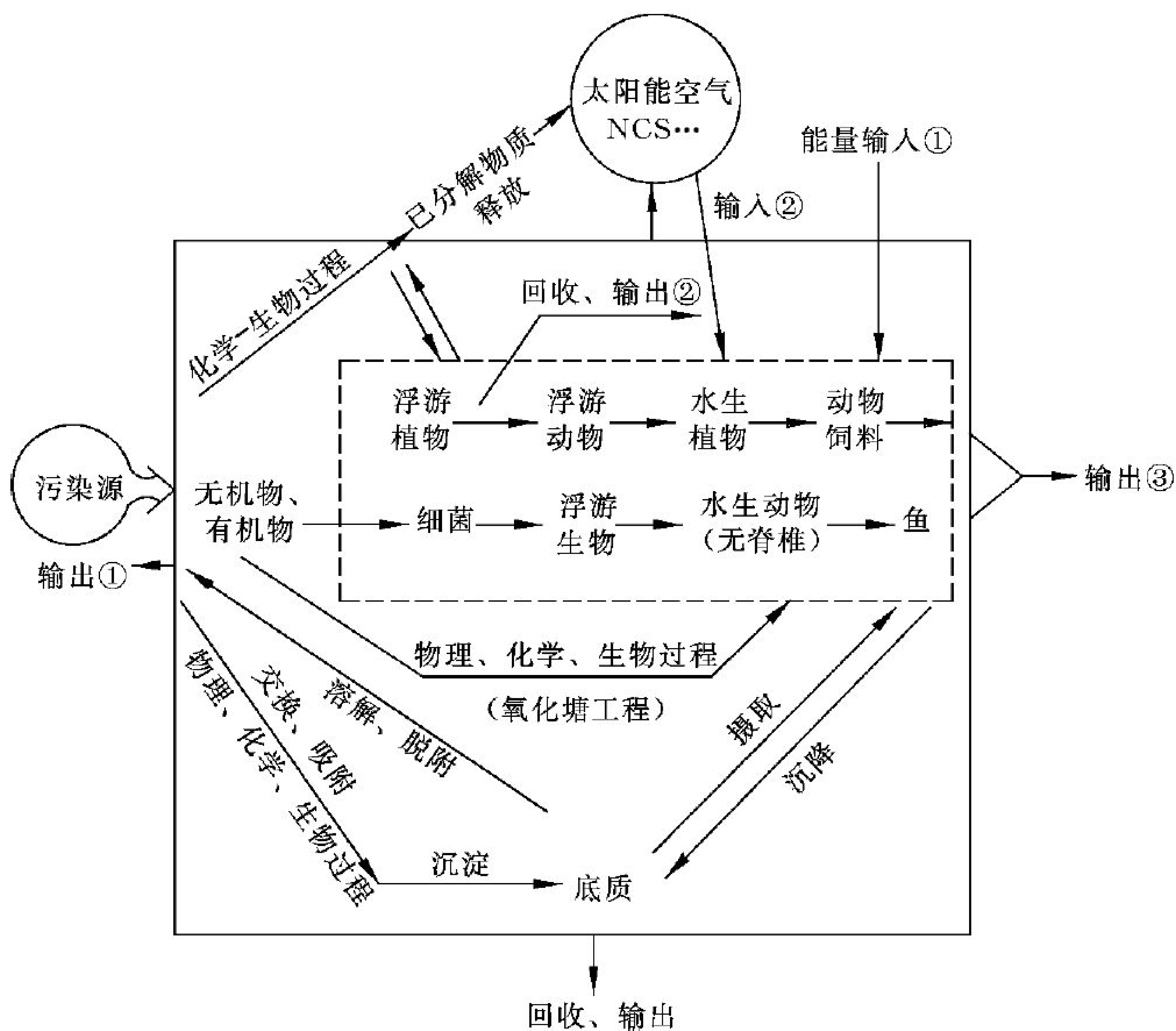


图 5-3　生态工程原理应用——污水自净系统

5.7　山区综合开发的复合生态系统类型

这是一种以开发低山丘陵地区，充分利用山地资源的复合生态农业类型，通常的结构模式为：林—果—茶—草—牧—渔—沼气。该模式以畜牧业为主体结构。一般先从植树造林、绿化荒山、保持水土、涵养水源等入手，着力改变山区生态环境，然后发展畜牧和养殖业。根据山区自然条件、自然资源和物种生长特性，在高坡处栽种果树、茶树；在缓平岗坡地引种优良牧草，大力发展畜牧业，饲养奶牛、山羊、

兔、禽等草食性畜禽,其粪便养鱼;在山谷低洼处开挖多个精养鱼塘,实行立体养殖,塘泥作农作物和牧草的肥料。这种以畜牧业为主的生态良性循环模式无三废排放,既充分利用了山地自然资源优势,获得较好的经济效益,又保护了自然生态环境。例如江苏省镇江市驸马庄,位于苏南丘陵山区,全村土地总面积260公顷,其中可耕地155公顷,茶园53公顷,果园16公顷,水面12公顷。全村共有429户1530人,人均耕地0.1公顷。1984年开始了以发展畜牧业为主的生产建设,首先从植树种草入手,发展奶牛、毛兔等食草性牲畜,然后调整农作物产业结构,扩种玉米、大豆,发展饲料工业,同时发展养猪、养鹅、养蛋鸡、养鱼以及培育食用菌,农畜产品进行深度加工,发展食品工业,最终达到牧、林、果、茶、草、禽、鱼、沼气协调发展的良性循环模式。经过4年的艰苦努力,现已初具规模,有人工草场20公顷,1987年产优良牧草57.5万千克,除满足本场需要外,还出售各种优良牧草种子127千克和种苗种根7万株,共收入近1.4万元;从丹麦引进优良种奶牛和调进中国黑白花牛以及自繁殖奶牛已达114头,牛奶总产量17万千克,供应市场61.2万瓶;发展精养鱼塘3公顷,产鱼1.8万千克。1987年全年总产值30万元,比上年同期的15.85万元增长89.27%;总收入21.75万元,比上年同期18.2万元增长19.56%,达到经济、生态和社会效益的协调发展,为丘陵山区综合开发探索出一条新路。

5.8 沿海滩涂和荡滩资源开发利用的湿地生态系统类型

沿海滩涂和平原水网地区的荡滩,是重要的国土资源,也是我国重要的土地后备资源。我国海岸线长,沿海省份多,滩涂资源比较丰富,但如何充分利用,加快沿海地区和水网地区的经济发展,并向外向型经济转变是一个十分重要的问题。近几年来,沿海地区和滩荡地区

的人民在开展生态农业建设过程中,创造了不少好的模式,仅江苏省北部沿海地区就有:射阳县林场的滩涂林业生态系统;东台市樯港镇的草—畜—禽—蚯蚓—貂的湿地生态系统;响水县陈港镇的苇—萍—肉—禽的湿地生态系统;建湖县荡中乡跃进村的林—牧—猪—鱼—沼气的荡滩生态系统;大丰县沿海滩涂养殖场的鱼—苇—草—牧生态系统;滨海县獐沟乡后尖村的农—桑—鱼—畜生态系统;高邮县卸甲乡虎头村的种—养—桑的荡滩生态系统;如东县棉花原种场的棉—牧—禽—鱼—花—加工的复合生态系统等。它们都是因地制宜发挥沿海滩涂资源和里下河地区的荡滩资源优势而建立的良性循环生态模式,统称为沿海滩涂和荡滩资源开发利用的湿地生态系统类型。该类型特点是按照自然生态规律和经济规律,因地制宜,充分发挥湿地资源优势,组建各种类型的生态结构,充分提高太阳能利用率,实现系统内的物质良性循环,使经济效益、生态效益和社会效益同步提高。例如:如东县棉花原种场,全场总面积 915 公顷,可耕地 670 公顷,全场职工 1840 多人。

近年来,他们在建设生态农业方面,首先从总体规划、合理布局入手,因势利导,发挥优势,合理开发利用。几年来他们改良重盐碱荒地 220 公顷,全场基本脱盐面积达到 470 公顷,建立蔬菜生产基地 133 公顷,建成防护林带 1.4 万米,发展果园 28 公顷和桑园 10 公顷,发展林苗、花卉 170 多个品种,向社会提供皮棉 650 吨,棉原种 22.5 万千克,种苗3000 万株,使水稻总产由原来的 5 万千克上升到 50 万千克;他们积极发展养殖业,已养奶牛 70 多头,长毛兔 1000 多只,肉用鸡 2 万只,种鸭 6000 只,建鱼塘 27 公顷,扩建鳗鱼温室 2200 平方米,并发展养蚌育珠。共向社会提供鲜奶 16 万千克,种兔 2000 多只,兔毛200 千克,鸡鸭 2.6 万只,商品鱼 2.5 万千克,鳗鱼 50 吨,出口创汇30 多万美元,养蚌育珠产值 3 万元。此外,他们还大力发展加工业,现已建成粮棉油、木器、牛奶、饲料加工厂4 个,投资 1175 万元建成全省规模最大的现代化的速冷食品厂,年生产冷藏菜 781 吨,出口日本635 吨。该场

1986年总产值比1978年增长12倍。

5.9 以庭院经济为主的院落生态系统类型

这是我国最近几年迅速发展起来的一种生态农业技术类型,特别是农村改革开放以来,以家庭承包为单位的经济形式发展以后,各种各样的专业户、个体户大量涌现,他们自觉或不自觉地运用生态学原理来规划、建设“小天地”,形成了我国生态农业建设中的一种新模式。这种模式的特点是以庭院经济为主,把居住环境和生产环境有机地结合起来,达到充分利用每一寸土地资源和太阳辐射能,并用现代化的技术手段经营管理生产,以获得经济效益、生态环境效益和社会效益的协调统一。这对充分利用每一寸土地资源和农村闲散劳动力,保护农村生态环境具有十分重要的意义。从宏观分析,以庭院经济为主的院落生态模式是整个国民经济发展的一个“细胞”,但只要正确引导,这些细胞可以横向联合成为一定规模的经济实体。庭院经济模式的优点有:

① 灵活性

生产经营具有较大弹性,可以搞加工业、养殖业或者种植业,成为大工业和农业的补充;又可以搞手工艺品、丝织、皮毛服装产品,成为外向型经济的组成部分,能适应市场多变的需要。

② 合理性

对庭院内外闲散土地实行全面规划、合理布局,利用各种物种生长特性,实行立体种植,合理和充分利用自然资源和劳力资源。

③ 系统性

可以通过食物链把各个生产环节组合在院落生态系统内,把种植业、加工业和养殖业结合起来,用现代化技术组合生产。

④ 经济性

可以利用院落占用的土地资源、利用闲散劳力和不宜到大田劳动的劳力，通过系统组合，使生产中的各种废弃物得到充分利用，用较少投入获得比较高的效益。

⑤ 高效性

院落生态系统的生产可利用不能被大型生产利用的零碎时间，并能生产各种名、优、特产品，经济效益高。一个普通庭院通过3～5年的时间就可以较快地改变成为高效的院落生态系统，尽快富民。

⑥ 统一性

该系统可以把经济建设和环境建设有机地结合起来，既可获得较高的经济效益，又美化了生活环境，使经济效益、生态效益和社会效益实现高度的统一。

例如北京市大兴县留民营村的生态农业建设过程中形成的鸡(兔)—猪—沼气—菜(花)的家庭循环系统(参见7.2.1节)就是很好的典型。实践证明，在一家一户的生产单元中，建立这样的小型循环系统不仅是可行的，而且是十分有利的，可以在不增加农户很大负担的基础上，产生较为明显的经济、生态和社会效益。

在庭院经济模式中，还有另一种类型，即家庭式的“联合”生产系统，将在下面向读者介绍。

5.10 多功能的农副工联合生态系统类型

生态系统通过完整的代谢过程——同化和异化，使物质流在系统内循环不止，这不仅保持了生物的生生不息，并通过一定的生物群落与无机环境的结构调节，使得各种成分相互协调，达到良性循环的稳定状态。这种结构与功能统一的原理，用于农村工农业生产布局，即形成了多功能的农副工联合生态系统，亦称城乡复合生态系统。这样的系统往往由4个子系统组成，即农业生产子系统、加工工业子

系统、居民生活区子系统和植物群落调节子系统(参见图5-4)。它的最大特点是将种植业、养殖业和加工业有机地结合起来,组成一个多功能的整体。

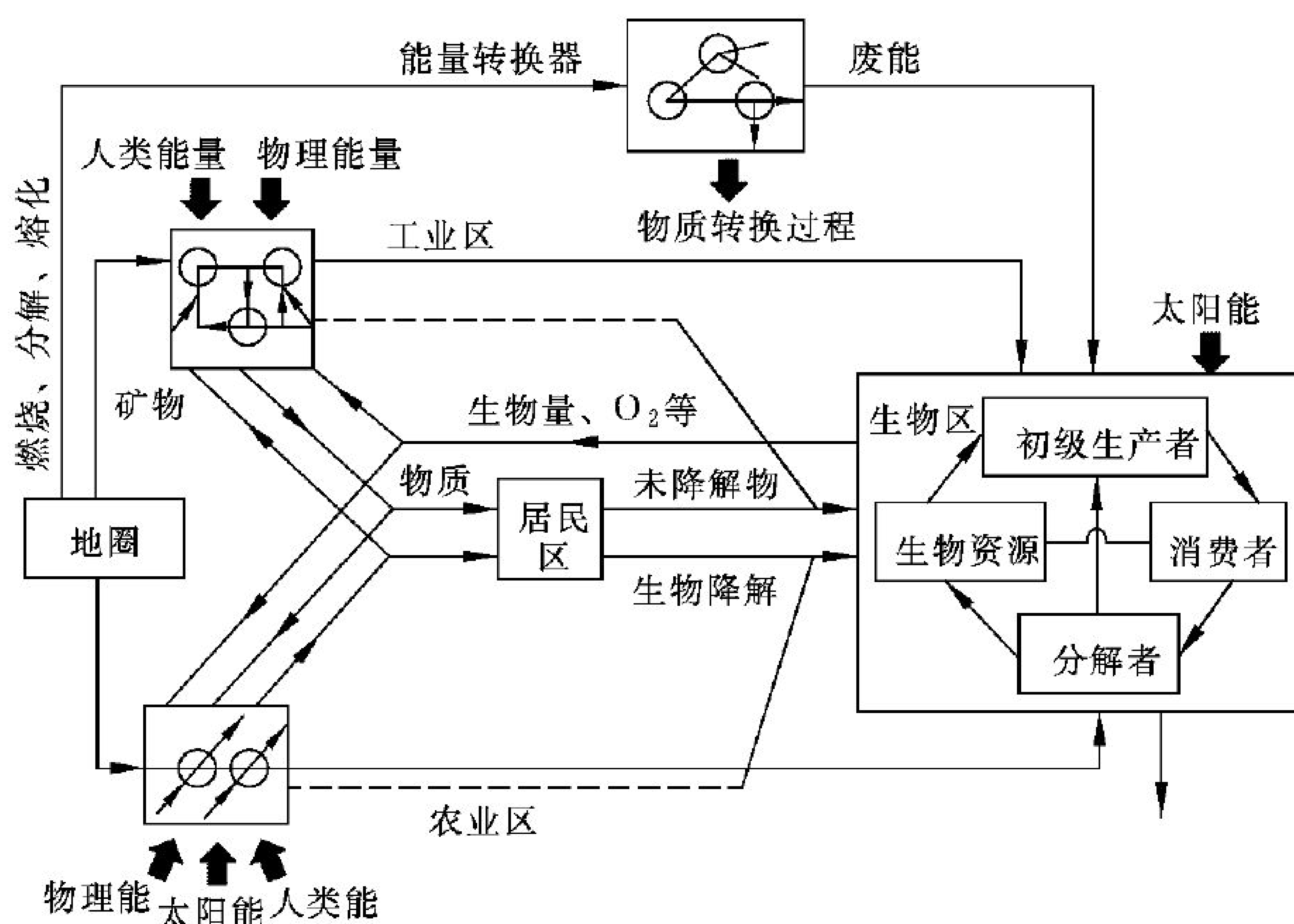


图5-4　多功能的农副工联合生产系统

多功能农副工联合生态系统是当前我国生态农业建设中最重要的,也是最多的一种技术类型,已涌现出很多典型。

江苏省吴江县桃源乡,过去一直以粮食生产为主,经济效益始终上不去。他们在认真总结经验的基础上,制定全面的经济发展规划,在稳定粮食生产的前提下,充分利用本地资源,发挥自己优势,积极发展无污染或少污染的乡镇工业和林、牧、副、渔各业生产。植桑养蚕和缫丝是苏南同时也是桃源乡的传统产业,它为纺织、服装行业提供原料,逐渐形成植桑、养蚕、缫丝、纺织、丝绸服装加工一条龙生产,出现了农、副、工相互促进的联合生产系统的良性循环,取得了显著的经济效益和环境效益。1987年农、副、工三业的产值分别为809万元、4100万元和8000多万元。并且每年从工业利润中提取60多

万元用于农业建设，作为“以工建农”的补助资金。该乡已成为吴江县丝绸和服装产品的主要基地之一，其产品已打入国际市场。

又如北京市房山区窦店村，1977 年以前只单一地进行粮食生产，虽然大量使用化肥，但产量一直在每公顷 2700～3000 千克之间徘徊，人均收入不足 80 元，后来改变种植结构，粮食产量不断提高，1983 年粮食每公顷产量达到 6000 千克，目前则超过了 9000 千克。

在粮食大幅度增产以后，该村适时地调整了产业结构，大力发展畜禽养殖业，1980 年冬季开始，利用粮多、草足的优势，从内蒙购进架子牛，进行快速育肥。至 1984 年 10 月，累计育肥肉牛 1400 多头，为市场提供了大量肉牛，仅此一项即获纯利 10 万元。后来该村在分户笼养蛋鸡的基础上，集中资金建成一座年产万只鸡的大型鸡场。同时利用粮食加工和屠宰场的废弃物，开辟 2.7 公顷鱼池，年养鱼 10 万尾。

在粮食连续增产和畜、禽饲养不断增加的情况下，1984 年又建立了一座肉类加工厂和一个食品加工厂，进行肉类和面粉的加工，使产品不断增值。目前的窦豆村已成为一个农、牧兴旺，工、副发达，农民富裕的现代化新农村，成为京郊继留民营村以后又一个典型。

农副工联合生产型不仅在乡、村一级规模的生态农业建设单元中获得了应用与发展，同时在以户为生产单元的众多专业户、个体户中也得到了应用。它和单纯以庭院经济为主的经营不同，范围更大，经营内容也更丰富，因此效益也更显著。

河北省深县大屯村农民吴文栓，全家 12 口人，7 个劳动力。1980 年实行承包责任制后，全家对承包的 2 公顷责任田精心管理，当年就获得了粮食 6000 千克、棉花 1200 千克、油料 250 千克的好收成，总产值 5200 元。收成虽好，但经济效益不高，扣除生产成本，每个劳动力日值仅 1.85 元。为了提高经济效益，全家利用冬闲时间，将收获的 750 千克黄豆加工成豆腐，收入 2800 元，获纯利 1200 元，与卖黄豆相比，增加收入 675 元，同时还得到大量豆渣。

此后,吴文栓又调整种植结构,增加黄豆种植面积,扩大豆腐生产。利用豆渣养猪,同时利用种植业的秸秆开始了养牛。1984 年养猪 15 头,养牛 24 头,获纯利 6000 元,同时为农田提供了大量的有机肥,减少了化肥用量,降低了生产成本。1982 年全年的生产费用为 2000 元,1983 年下降为 1030 元。

随着种植业和畜牧业的发展,对幼畜的需求量越来越大,吴文栓又投资 1.8 万元,建立了一个农家配种站,既满足了附近农民对良种牧畜的需求,又为家庭每年增加了 1 万多元的收入。

吴文栓一家,把单一的种植业生产,变为一种种植业、养殖业、加工业相互联系、相互促进的联合生产系统,这是生态学原理在一家一户应用的好典型。

上面我们列举了当前我国生态农业建设过程中常用的 10 种技术类型,其共同特点是能把经济效益和生态效益有机地结合起来,把生物量增加、转化和维护与改善生态环境结合起来,取得较好的效果。当然它们仅仅是具有代表性的一些模式,随着生态学原理和工艺技术的进一步研究、发展,特别是对空间的利用、物质的多层次、多途径转化以及水陆环境的交互补偿等的进一步探索研究,必将创造出更多、更新的技术类型,丰富我国生态农业建设的内容。

6 积极开展生态农业建设与研究，加速实现我国农业现代化

6.1 我国生态农业建设的特点和当前存在的问题

基 本 特 点

前面我们介绍了生态农业的基本概念和我国生态农业建设的主要类型，可以看出，我国生态农业虽然起步较晚，但发展是十分迅速的，并且从总体上说，已处世界先进水平。但由于我国和国外存在着社会、经济、环境等诸多因素的差异，因此，尽管从基本原理上说没有什么不同，但从生态农业的产生背景、基础理论研究、实用技术、类型与模式、基本特点、发展的趋势等多方面看，我国的生态农业和国外相比还是有一定的差异。认真研究国外经验，取其精华，对于进一步发展我国的生态农业是大有好处的。从实际建设来说，我国的生态农业

有如下几个特点。

(1) 研究内容丰富,经济、生态、社会三效益并重

第5章已经介绍了国外特别是发达国家的研究,当前主要集中在农田营养平衡和病虫害的防治两大方面,而我国研究的内容则十分丰富而广泛,几乎涉及了农业发展和农业环境保护的各个方面,从粮食生产到农业废弃物的综合利用,从资源的充分合理利用到良性循环的实现等等。也就是说,在努力提高、发展生产力,增加经济效益的同时,还十分重视生态环境的保护和改善,重视对社会的贡献,经济效益、生态环境效益和社会效益并重。而国外的研究,往往更多的是注重生态环境效益,而对经济效益则重视不够。

(2) 规模一般较大

国外的生态农业建设一般以家庭规模为主,一家一户就是一个生态农场,最大的占地也不过20公顷(合300亩)。而我国的建设试验一般规模要大得多,通常以一个村庄为建设单位,还有少数以乡甚至有以县为单位的。尽管在我国也出现了不少以户为建设单位的生态户,但普遍仍是以村为单位的多,规模要比国外的大得多。

(3) 注意多学科的配合,注意和农民的结合

生态农业系统是一个多层次、多因子的综合体,它不仅涉及到自然科学的农学、生态学、生物学、化学、物理学、工程学,同时还涉及到经济学、管理科学、人文科学。因此在我国生态农业的实践过程中,不仅注意自然科学各门学科知识的运用和结合,还十分注意社会科学和自然科学的结合。

我国所有成功典型的经验都表明科学家必须和农民相结合,没有这种良好的结合,建设不可能取得迅速发展,而国外的生态农业建设是很少做到这一点。科学家们在自己的试验田里实践,而农民的实践试验也很少得到科学家的支持和帮助。

存在问题

但是我们也明显地看到，我国生态农业建设由于发展较快，因此也带来或存在不少问题，主要是：

（1）定量研究不够，普遍水平较低

尽管我国不少试点取得了成功，得到了国内外的高度评价，有的取得了居世界领先水平的成果。但从全国的情况来看，普遍的水平较低，突出表现在定量研究不够，从已鉴定或上报各级管理部门的研究报告或成果来看，大多数是半定量甚至是定性的研究。有些虽进行了定量分析，但参数的使用，计算方法等均未能做到统一和规范化。

（2）理论研究不够，缺乏指导实践的理论依据

我国不少高等院校和研究机构，均开展或参与了生态农业的研究，但大多数都没有在实践中从始至终地和农民在一起具体参与实际建设，因此不少的理论研究还只停留在文献分析总结上，而缺乏令人信服、指导实践建设发展的理论依据。特别是至今没有建立起一套完整的评价生态农业建设成效的指标体系。虽然不少单位都开展了有关的研究，也提出了一些评价指标，但都不够完整、全面，有的只适用于县、地区，有的只是试点评价的具体指标。由于缺乏权威性的评价指标，因此一定程度上影响了研究成果水平的提高和横向间的比较。

（3）缺少指导建设全过程的生态经济发展规划

据笔者所知，我国大多数的生态农业建设试点，即使是在各级管理、领导部门立项，获得批准的，但在研究、建设开始时，也仅有一般的工作计划（或工作大纲），而没有一个在深入调查研究基础上编制而成的能指导建设全过程，并预测未来发展的生态经济发展规划。这就使得在整个建设过程中缺乏一个系统的依据，因此往往在建设

过程中跳跃变化大,阶段发展衔接不上,平衡失调。特别是由于缺乏规划预测,因此心中无数,当设想条件一旦发生变化时,便束手无策,不知所措。山东省某市一个建设试点,已搞了两年,也花了不少研究经费,但最后感到不知怎么办才好。分析其原因尽管多种多样,但缺少一个完整的生态经济发展规划,则是一个很重要的原因。

(4) 发展不平衡

近10年来,我国的生态农业发展很快。20世纪80年代初,全国的生态农业试点不到10个,而立项研究才两三个,到1989年,在各级领导、管理部门立项研究已达1200个,目前已达到2000多个,未正式立项的就更多。但纵观全国情况,发展很不平衡。主要表现在:

① 地区间发展不平衡;北京、四川、山东、江苏、辽宁、安徽等省市发展较快,也较好,而其他一些省市,特别是边远地区则发展较慢。

② 水平参差不齐,差距较大。最近几年来,全国出现了一大批生态农业建设的典型,如北京的留民营村、辽宁的大洼西安生态养殖场、山东胜利油田生态农场等,在国内外产生了一定的影响。留民营村被联合国命名为世界生态农业新村;留民营村等11个生态农业试点,先后被评为全球“环境保护500佳”,标志着我国的生态农业建设已处于世界先进水平。但是发展不平衡,典型样板,特别是不同地区,不同类型的典型样板还太少,大多数的水平还较低,先进典型和一般之间差距很大,这在一定程度上影响着生态农业在我国的普及推广。

(5) 农村科技人员严重缺乏

农村科技人员严重缺乏,影响试点的持续发展。这在我国是一个较普遍的问题,不少生态农业试点,开始建设、发展很好,但几年以后,当科技人员一旦撤离,就不能很好地坚持下去,究其原因,是在生态农业建设过程中,没有重视当地人才的培养,又缺乏应有的指导,不少试点半途而废,十分可惜。

6.2 建设良好的生态农业系统

良好的生态农业系统应具备和谐的结构，高效而经济的物质和能量的传输和转换，既能适应当地自然条件的变化，又能克服影响生产发展的障碍因素，并具有一定的净化环境污染的能力，又可以充分合理地利用自然资源，发挥最佳的生产效率，为人类提供优质、高额、稳定的生物产品。那么，怎样才能建设一个良好的生态农业系统呢？

合理利用自然资源

任何生产都是离不开资源的，生产的过程和最终目的，也就是将资源转化为产品。农业生产也同样如此。保护自然资源不仅是生态农业系统研究的重要内容，而且是生态农业系统建设和发展的前提。为了使农业资源长期为人类利用，开发资源必须与保护资源相结合，也只有这样才能保证自然资源的利用延绵不绝，并保证其源远流长。但是由于人口和消费的日益增长，人类越来越大规模地开发自然资源，特别是那些只顾目前，不顾将来生产的开发措施，对自然资源造成了一系列的破坏，结果引起自然界的报复，给人类带来了灾难。例如水土流失，草原退化，土地沙化，土壤的次生盐碱化，农田的污染和破坏等等，无一不是由于人类自身不合理地开发利用自然资源带来的后果。所以在开发利用自然资源时，必须和保护增殖自然资源相结合，例如山区要加强水土保持，植树造林，切忌滥伐森林；草原要科学放牧，保护草场，严禁乱垦、过载；平原地区严禁不合理的拦河筑坝，围湖、围海造田，破坏生态平衡。另外，用地要养地，为了使土地维持较高的生产力，就必须重视土壤中水分的循环和土壤有机质的积累和更新。

为了保护农业资源，要尽量防止“三废”和农药、化肥对农业环境

的污染,合理安排和控制乡镇企业的发展。对农药的使用要尽量减少,特别是高残留的有机氯农药。要积极开展病虫害的生物防治。多年来,我国在这方面已取得了很好的成果,例如用赤眼蜂防治粮食作物害虫玉米螟、稻纵卷叶螟和经济作物害虫棉铃虫、蔗条螟等,效果达到70%~90%。近20多年来,我国还对许多农业及森林害虫,采用农业、化学、生物、物理等综合防治措施,改进了农田生态条件,保护了害虫天敌,达到了既控制害虫发展,又可使农业环境不受污染的良好效果。化肥的使用必须适量,过多使用不仅肥效不高,而且使农业成本增加,还会造成水土的污染。开发兴修水利,要使工程措施和生物措施相结合,山下修水库,山上植树造林,保护水源。

总之,在开发利用自然资源的同时,必须注意自然资源的保护和增值,有了丰富良好的自然资源,才能为建设良好的生态农业系统创造前提条件。

改造旧系统,建设新系统

建设良好的生态农业系统,必须克服限制农业生产发展的障碍因素,利用现代的科学技术,把旧的生态系统改变为新的生态系统;将低产水平的生态系统改变为良好而稳定的高产水平的生态系统。

调查表明,全世界的土地面积,大约只有11%左右没有受到阻碍农业生产发展因素的限制,其余的土地都不同程度地遭受干旱、盐碱、有毒物质、缺乏营养元素、土层浅薄、渍水过多或永久冻土之害。我国平原面积仅占国土面积的1/10,宜垦面积只有欧洲的1/7,我国人均耕地面积不仅低于世界平均水平,而且还低于印度这样的发展中国家。随着经济建设的发展,我国的耕地还在不断减少,人口却在不断增加。这就要求我们不但要管好、用好现有的土地,同时还要改造好那些具有障碍因素的土地,对生态环境已遭到破坏的地区,要尽快医治创伤,逐步进行改造,使其早日达到符合人们愿望的良好、优

质水平。例如经常遭受盐碱化威胁的华北平原、水土流失严重的西北黄土高原和南方丘陵地带都应尽快加强改造，使低产的生态系统得到尽快的改善。有些地方，由于原来潜藏于地层深处的物质和元素，通过人类活动而上升地表，释放出对人类和生物有毒的物质，或经食物链浓集，使有毒有害的微量元素累积致害或造成生态系统的慢性崩溃，都极应改善。

因此，以生态学原理为指导，应用现代科学技术，改造旧的、低效的生态系统，是建设良好的生态农业系统的重要内容和条件。

因地制宜地确立合理的生产结构

因地制宜确立合理的生产结构，是建设良好的生态农业系统的重要措施。

生态农业系统的功能和结构是一对矛盾的统一体。功能影响结构，结构决定功能。合理的结构，可使系统保持高度的稳定性，增强系统的自我维持能力。而合理结构的建立，又要因地而异，因地制宜。因为不同的地区具有不同的自然条件和社会经济条件，只有对这些条件进行深入的调查和研究以后，参照当地顶极群落结构设计系统的生产结构，才能保证系统的稳定，并持续发展。怎样的结构才有利于系统的能量流动和物质循环，而又能发挥人的主动调节作用？从生态学的角度看，这就是立体农业结构。这是因为：

① 在生态结构中，空间立体结构和平面结构是有机地组合在一起的，各种不同的生物生存在空间的不同位置上，呈现立体配置状态。在不同的空间高度，水下深度，甚至不同地层深度都有不同的生物生存着。这是一个十分巧妙的安排，只有这样才能有效地利用空间。立体与平面的有机组合，是自然界和人类社会最佳的效率结构。

② 要想使一个生态系统的生产力得到最大发挥，就需要增加生物种群和个体的数目，而立体农业结构把木本油粮作物和各种经济

作物、粮食作物或饲料等草本作物合理地安排在一个系统的不同空间,既增加了有机体的数目,又充分利用了土地、水分、热量、光能等自然资源。同时,可以有效地增加系统的有机质含量,使各种元素维持相对平衡,增加农业生物抗病虫害的能力。

③ 在农业系统中,人们为了减少能量的转化环节,使能量损失维持在一个低水平上,往往缩短了食物链。如单一的农田系统就具有这个弱点。而立体农业结构,把农、林、牧三者结合在一起,既发展了林业,又发展了种植业和牧业,人们所需要的粮食、油、奶、蛋、肉、燃料、木材等都可取之于这种系统。同时系统内食物链增多、加长,能量与物质流动环节增加,增强了系统的稳定性,提高了生产力。

④ 生态农业系统设计的中心是农业生物,立体农业结构由于体现了这一主导直接因子的合理安排,因而使一系列非主导性的、间接因子也发生了一系列变化,因而体现了生态效果和经济效果的统一,不仅符合自然规律也符合经济规律。

⑤ 立体农业结构的建立有利于保持农业生态平衡,因为结构复杂,一部分机能异常可以被其他部分所调节,而结构简单,内部调节的能力也就小。

但是,立体农业结构的建立又涉及到一个农业生产的方针问题。一般说来,从大局来讲,从一个国家来讲,不宜提以什么为主,或以什么为纲。但粮食又非抓不可,科学的措施是建立农、林、牧、副、渔的五业农业结构,而在各个局部上,又必须根据本地的实际条件建立起以一业为主的多种经营结构。尽管各地的条件不同,农业发展的方向也有所差异,但是,发展多种经营,五业结合,避免单一的结构,则是各地应走的共同道路,只是不同地区五业结构的方法、比例、途径有所不同而已。这也就是说,合理的生产结构的建立,一定要因地制宜,既没有一个固定的模式,更不能定一个千古不变的框框,即使是同一地区,随着生产的发展、科学技术的进步、生产力的提高、资源情况的变化,乃至政策方针的调整,都会对生产结构产生影响。特别是

我国正处于一个大发展时期，社会对农产品的需求，人们消费水平的不断提高，都会对生产结构，对农、林、牧、副、渔各业的结合与比例产生新的要求。所以，合理的生产结构，也必须顺应形势的要求，在不违背生态规律的前提下，适时地加以调整。

总之，合理的生产结构应以能否充分合理地利用自然资源，不断提高农业生产力，满足社会需要为标准。实际上，这也是生态农业的基本特点和要求。

在讲到生产结构的调整时，当前有两个问题需要正确对待，一是关于发展畜牧业的问题，二是关于发展乡镇企业的问题。

关于发展畜牧业，有些同志认为农业的发展应以牧为主。这实际上已不是一个生态农业系统内部生产结构调整的问题，而是发展农业的方针问题了。我们认为生态农业系统生产结构调整的原则是因地制宜，做到宜农则农，宜林则林，宜牧则牧，宜渔则渔，不能不顾本地区的条件、资源情况、传统习惯、笼统地提出以什么为主。除了传统的牧区以外，一般地区，畜牧业的发展，也仅仅应该是充分利用这一地区的草山草坡放养牧畜和利用种植业的副产品来饲养畜禽，最多也只是农牧并举，提高畜牧业的比重，决不是，也不能是以牧为主。

谈到乡镇企业，根据生态农业的特点和建设原则，生态农业系统应该有自己的加工业，但是应以加工自己的产品为主，而不能单纯为了经济效益去发展工业。应该强调说明，生态农业要求生产结构复杂，多种经营，但它与一般的农、林、牧、副、渔五业发展有所不同，后者往往将经济效益放在首位，哪一种行业经济效益高就发展哪一种，这是当前我国不少农村地区造成严重污染的原因之一。而生态农业则是在强调经济效益的同时，更加重视生态效益，把保持和改善系统的生态环境状况放在首位。所以生态农业系统的乡镇工业应以农副产品加工和饲料业为主，以为城乡人民生活生产服务的无污染或轻污染的工业为主，例如食品加工业、服装加工业等。在没有防治污染

措施和治理条件的情况下,要注意限制那些重污染行业,例如电镀、造纸、冶炼、皮革加工等的发展,切实保护好农村生态环境。

尊重自然规律,保持农业生态平衡

切实保持农业生态平衡是建设良好的生态农业系统的重要保证。为此,需要解决好下列三个问题。

(1) 正确认识农业生态平衡

我们所说的农业生态平衡,通常包括两个方面的内容,即农业总体内各个农业部门之间的平衡,以及各个农业部门内部的平衡。

农业总体内各个部门之间的平衡,就是大农业的平衡。所谓大农业,就是说农业不能只局限于种植业,应当包括林、牧、副、渔和多种经营。也就是说,除了农田生产以外,还包括草地的畜牧业,湖泊、池塘的淡水养殖业,浅海、海涂的咸水养殖业,农村饲养家畜、家禽、养蜂以及山地和平原的栽培木本油粮,果树,家庭副业,和农副产品加工为主的加工工业等等。所以讲农业生态平衡不仅是各业本身的平衡,而首先是各业之间的平衡。长期以来,我国执行了一条“以粮为纲”的方针,不仅妨碍了林业、牧业、渔业和多种经营的发展,农业本身也搞不上去。所以讲农业发展,首先要讲大农业的发展,讲农业生态平衡,首先要讲大农业的平衡。

大农业生产包括植物生产和动物生产。在自然界中,动物不能自养,都是直接或间接地依靠植物而生活。动物吃了植物以后,在体内经过一系列的生理生化过程,转化成为可供人们利用的肉、蛋、乳、皮、毛等。所以,可以说大农业的本质就是生态系统中物质和能量的转化过程。人在动物、植物生产过程中所加入的能量和物质,就要根据一定的自然规律,采取适当的技术措施,保持上述生产过程中物质和能量交换的平衡,这样物质才能不断地循环,能量才能不断地转化,生物量和生产量才能不断提高。这就是衡量生态平衡的标志。

但是生态系统一旦遭受外界不合理的干扰，超越它本身的自动恢复调节能力，即阻碍系统中物质循环和能量交换的正常进行，最终就会导致有机体数量减少，生物量下降，生产力必然衰退，从而影响社会经济的发展，影响人类的生活和生存。

现在看来，40多年来我国农业生产发展缓慢，农业生态平衡受到破坏的主要原因，就是忽视了大农业的平衡。实际上，实行了小农业(认为只有种植业才是农业)、小粮食(认为只有稻米、麦子、玉米等禾本科作物才是粮食)的方针，把眼光只局限于耕地和粮食。为了搞粮食，就毁林、毁草开荒，围湖、围海造田，加重了风沙侵蚀和水土流失，破坏了生态系统的平衡，以致水、旱灾害增加，这又引起了农业生产的不稳定，被迫进一步扩大耕地面积，使整个农业生产陷入恶性循环之中。图6-1为小农业、小粮食观点造成的农业生产恶性循环示意图。

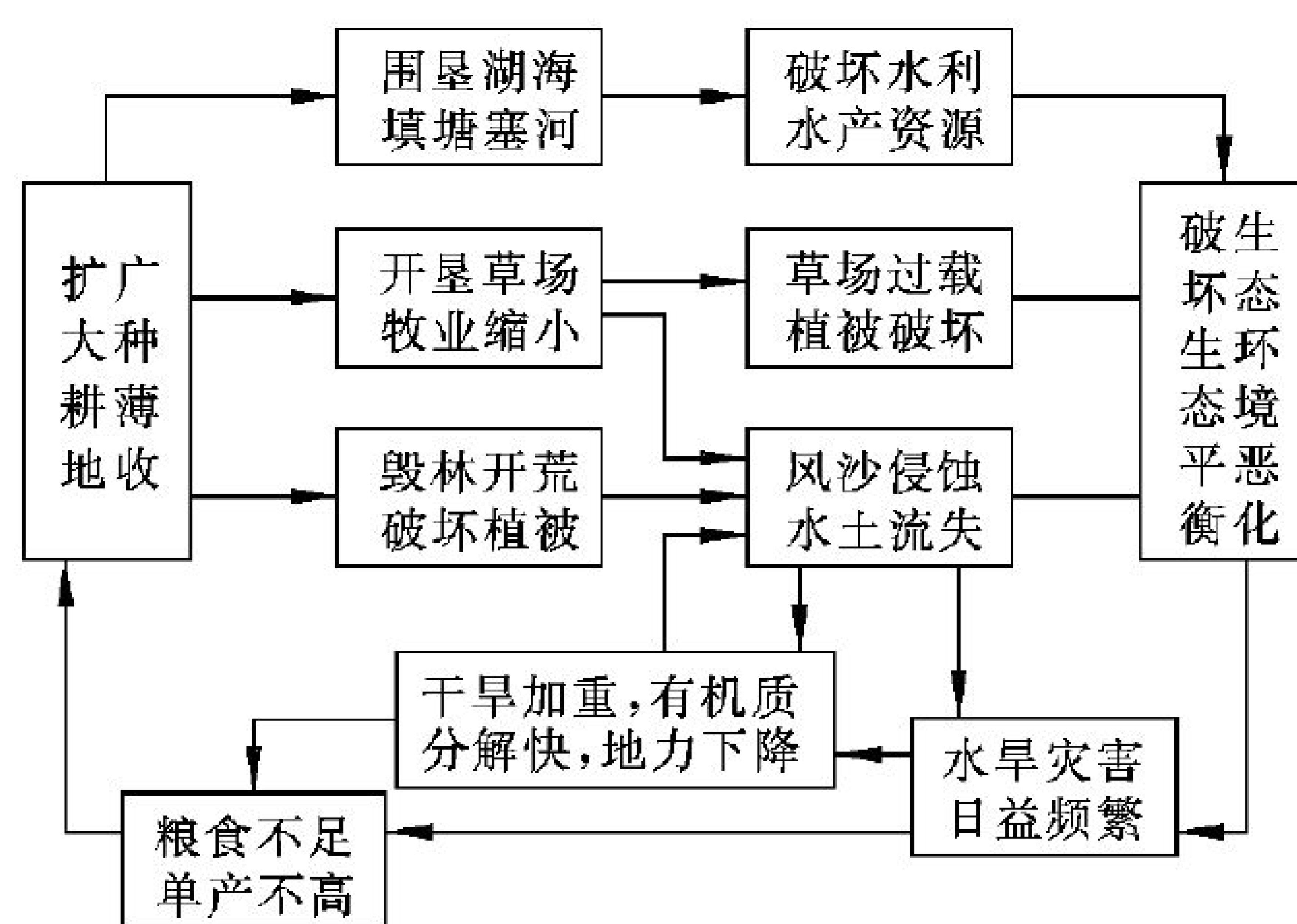


图6-1　小农业、小粮食观点造成的农业生产恶性循环图

1981年3月，中共中央发出了关于积极发展农村多种经营的号召，明确指出，要放眼于全部国土的利用，要有大农业、大粮食的观点，要建立良好的大农业生产体系。因此，正确认识大农业生产平衡，是建立良好的大农业生产体系的当务之急。

生态农业系统内部的平衡主要包括两个方面,一是营养结构平衡,二是网络结构平衡。

营养结构平衡主要表现在营养物质(也包括能量)输入输出的平衡,这是自然资源转化为农产品的前提。因此,要想从生态农业系统输出较多的农畜产品,就必须输入较多的物质和能量参与循环转化。一般说,有输入才有输出,输入是前提,输出是目的,在特定的时间内,输入和输出要在量上达到相对的动态平衡。

生态农业系统营养结构平衡的破坏有两种情况,一是输出大于输入而不能及时补充。这种破坏表现为土壤肥力下降,使作物得不到必需的营养而使产量下降。二是在能量转化或物质循环的过程中,系统的某一环节出了问题而使营养结构平衡遭到破坏。

生态农业系统的网络结构平衡,主要指系统内部各子系统之间的平衡协调,这是提高系统生产力的关键。这是因为,任何一个生态系统,其各部分之间都是相互影响、相互制约的,牵一发而动全身,某一环节的失调往往引起全局性的灾难。

(2) 对农业生态平衡要有发展和全局的观点

任何事物的发展都有平衡和不平衡之分,生态农业系统也一样。平衡是相对的、暂时的,但又是客观存在的,否则就无法从事农业生产。生态关系向有利于人类的方向发展的,就称为良性循环,或者说建立了良好的生态平衡;反之,就称为恶性循环,或者说破坏了生态平衡。

生态农业系统中各部分之间进行着不断的能量交换和物质循环,所谓生态平衡只是在一定条件下形成某种相对稳定的适应关系。实际上,生态平衡总是动态的、变化的,现在的平衡是由过去的不平衡变化而来,而且将永远变化下去,不会停留在一个水平上。原始农业的刀耕火种,现在的高产农田、果园、牧场都是通过破坏原有的生态平衡,建立新的生态平衡而达到的。农业发展的历史,就是在平衡—不平衡—平衡的不断循环过程中打破旧平衡,建立新平衡,用新平衡代替旧平衡的历史。决不能为了保持生态平衡而束手束脚,关

键是按照自然规律办事，不断打破旧平衡，建立新平衡，使系统内物质和能量更好地循环和转化。

此外，生态农业系统既然是一个各部分相互影响的网络结构，农业生产就必须要有整体观点，只照顾部分，盲目采取某些措施，必然要破坏整体的平衡，带来严重的后果。

最后，在经营管理方式上，特别是有关的领导部门，对系统的建设、资源的开发利用，也必须有全局的观点、发展的观点。例如在山区的建设与开发中，不少地方各自为政，只顾本部门的利益（而且往往是只顾眼前的利益），造成资源的浪费与破坏，农业部门以粮为纲，只管开坡种地；商业和外贸部门只管收购土特产品。结果就出现了谁都伸手向山区要资源，可谁也不管山区如何建设、资源如何保护的混乱局面，靠山吃山不养山，结果只能是资源破坏、生态环境破坏。而要资源的各个部门，虽然获得了一时的、局部的利益，但失去了长远、整体的利益。

（3）必须坚持生产和生态同时兼顾的原则

生产和生态是对立的统一。一般来说，良好的生态平衡能获得较好的收成，但有时生态比较平衡却未必对生产完全有利。例如自然生态系统比较平衡和稳定，但是生产力却较低，这种平衡就不符合人们的需要，而必须加以改造，以创造高生产力的新平衡。但是，在建立新平衡的过程中，应该吸取和保留自然生态系统合理的部分，如大量种植橡胶应认真保护好其他热带雨林；开垦农田要营造好防护林；大规模的灌溉设施、围湖造田要辅之以排水系统等。

人类一旦掌握自然规律，就能自觉地支配自然。在西双版纳，中国科学院热带植物研究所应用生态学原理，按照热带雨林的自然植物群落结构，模拟创造了各种人工混合群落，如橡胶—茶树；橡胶—金鸡纳霜—砂仁等，各种植物根据不同的生态习性搭配在一起，组成了一个合理的新结构，既较好地维持了生态平衡，又生产出人们需要、价值也更高的产品，这是一个依照生态规律从事生产的好例子。

在我国农村也有很多在生产和生态关系上处理得较好,因而生产发展,由穷变富的事例。如甘肃省高台县六坝乡高一村,只有83户,420口人,过去是有名的风大灾多、沙逼人走的穷地方。该村从20世纪50年代开始营造防风林,现在已形成南北宽300米,东西长6000米的防风固沙林带,造林面积达308公顷,户均3.7公顷,人均0.73公顷。并营造果园6公顷,种植果树1900株。林业的发展,起到了防风固沙、保护农田的作用,促进了农、林、牧业的全面发展。解放初期粮食每公顷产量只有750千克,现已达到6750千克;大牲畜每户平均1头,羊每户平均10只。过去的穷沙滩,现在变成了林茂粮丰、六畜兴旺的好地方。

又如陕西省米脂县高西沟村,位于一个山丘、沟壑地区,是一个风沙、干旱、高寒、冰雹和水土流失等自然灾害频繁、十年九不收的穷地方,人均耕地0.5公顷,但人均粮食只有150千克左右。从1959年开始种树种草,到1973年,全村林地和牧草地已占总面积的2/3,农田面积只占1/3。由于森林和牧草保护了农田,同时加强了农田的基本建设,广种薄收变为精耕细作,每公顷粮食产量比过去增加了10多倍,耕地面积虽然减少了,但粮食总产比1958年增加了5倍多,人均产粮600千克,猪、羊和大牲畜也比过去多了2～9倍,人均分配比1958年增加了3倍。

在我国南方,退耕还林还牧,效果更为显著。如四川省武隆县核桃乡,位于海拔800～1300米的陡坡山地上,原有大片野生灌木和杂木林,1960年以后,片面强调抓粮,毁林开荒面积越来越大,土层越种越薄,单产大幅度下降,粮食每公顷产量仅450千克,每人平均口粮只有96千克,征购任务年年完不成,农民收入逐年减少,人均分配只有23元,全乡32个村全部吃救济粮或返销粮。1976年以来,乡里总结经验,提出停止毁林开荒,退耕还林,到1978年全乡共退耕陡坡地750公顷,只保留了一部分平缓坡地,在幼树中间种粮食130公顷。由于退耕还林,可以集中劳力,集中施肥,改良种子,提高耕作技

术，1978 年共生产粮食 160 多万千克，比退耕前的 1976 年增加了 2 倍多，从吃返销粮变成了卖余粮。

相反，如果不重视生态环境保护，不注意保持生态平衡，因而遭到大自然惩罚的例子也很多。例如宁夏回族自治区固原县，大部分是山丘地区，干旱缺雨，水土流失严重。在这样的条件下，发展畜牧业比较适宜，种粮则低而不稳定。但建国以来，这里却大量开荒种粮，结果开荒 8.5 万公顷，耕地从 20 万公顷增加到 28.5 万公顷，人均耕地 0.57 公顷，平均每公顷产粮 315 千克，人均产粮只有 178 千克，不及 1949 年人均产粮 414 千克的一半。从 1970 年到 1977 年，国家向这个县征购粮食 6000 万千克，返销粮却达 8500 万千克。向国家交售的油、肉也大为减少，1956 年向国家交售食油 434 万千克、猪 2.3 万头。1976 年向国家交售的食油只有 42.5 万千克，减少了 90％以上，交售猪 2 万头，减少 15％；1958 年交售牛 3000 多头，1977 年只交售 890 头，减少 70％。毁草开荒，广种薄收的结果，使这个原来的小康地区，变成了生活靠救济、生产靠贷款的穷地方。

又如湖南省新化县铁炉乡，有 4000 口人，人均耕地只有 0.027 公顷，人均林地有 0.67 公顷。解放初期森林覆盖率达 70％。历史上群众生活靠“三蔸”（树蔸、竹蔸、茶蔸），吃粮靠“三阳”（益阳、邵阳、黔阳），卖了“三蔸”买“三阳”的粮，生活还很不错。后来单一抓粮食，毁林开荒 700 公顷，林地从 70％减为 30％，也减少了“三蔸”的原料。随着毁林开荒，气候条件恶化。虽然耕地增加了 700 公顷，而粮食产量却逐年下降，1975 年粮食总产量为 95 万千克，1976 年为 91 万千克，1977 年为 87.5 万千克，1978 年又减为 80 万千克。4 年减少了 16％，收入也减少了。

由以上事例可以充分说明，农业生态环境的保护，生态系统的平衡，对农业生产的影响是多么巨大。如果我们不能正确对待和妥善处理生态和生产的关系，只有生产观点，没有生态观点，到头来必然要遭受到大自然的报复。

总结起来,我国农业生态平衡的破坏主要有两个原因:一是生产比较落后,人们为了解决吃饭问题,不得不在一些宜林宜牧荒地上开荒种粮或围垦造田;农村能源紧张、燃料不够,就要烧秸秆、烧木材,封山育林就困难,有机质就不能还田,农田生态系统的平衡就被破坏。这种状况谁都知道不合理,但要吃饭、要烧柴,又不得不这样做。二是人们只有生产观点、经济观点,而缺乏生态观点,不按生态规律办事,造成了农业生态平衡的破坏。但是我们不能把农业生态环境的破坏完全归罪于“以粮为纲”和“围垦造田”。现在我国人均粮食只有400千克,人均耕地只有0.1公顷多一点,粮食生产还必须发展,还必须从提高粮食单产和扩大耕地着手。因此必须坚持合理开垦、科学种田的原则,全面贯彻“决不放松粮食生产,积极开展多种经营”的方针,纠正盲目开垦和单一种粮造成的农业内部比例失调的错误,把生产和生态同时抓起来,使农业生产处于良性循环,做到既发展生产,又保持良好的农业生态平衡。

6.3 生态农业建设中的几个具体问题

关于试验点的选择问题

凡是具有实践性的科学研究,都有选点问题,并且选点的合适与否,对建设发展具有决定性的影响。特别是生态农业的研究在我国还刚开始,试验点的成败与否涉及到生态农业道路在我国是否可行的问题,因此点的选择十分关键。怎样才能选好点?根据作者经验,首先做好两件事:第一,深入调查研究,要把点上的情况确实了解清楚,特别是干部和农民的思想状况,不能光听介绍不看实际,不能只看生产条件不看思想基础;第二,努力做好宣传工作,使点上的同志确实明白工作的意义,能够坚持实验,宣传工作不能只在选点的时候,而且要贯彻到整个工作过程中。使农民真正了解生态农业建设

的目的和意义，把我们的目的变成群众的要求。

具备怎样的条件才能成为试验点？一般说来有这样几条：

第一，领导班子稳定、团结、勇于接受新事物，干部和群众迫切要求改变当前生产面貌。

第二，生产发展有一定的基础，具有一定的公共积累，有发展生产能力。

第三，要有一定自然条件优势，或者具有生态优势，生态潜力。

第四，劳动力资源比较丰富。这是由生态农业建设的内容和要求决定的，实际上也是一个社会经济优势问题。

第五，交通比较方便，距市区最好不超过50千米。

关于研究方案的制定和建设规划的编制

在试点确定以后，最重要的就是要制定正确的研究方案和编制一个切实可行的生态经济发展规划。这就要求在点上深入下去，做认真的调查和分析，搞清当地的自然地理条件、社会经济条件、地方优势、生态优势、生产发展中存在的问题等等，使研究方案和发展规划真正做到因地制宜，建立在可靠的基础上。

在具体编制规划时，要注意处理好三个问题：

(1) 生态效益和经济效益的问题

我们是社会主义国家，社会主义基本经济规律要求我们生产不只是为了追求利润，而是为了满足社会和人民日益增长的物质和文化生活的需要，科学地处理建设发展同环境系统之间的平衡。既要发展经济，又要取得良好的环境效益，把“保护环境是基本国策”真正体现在生产建设的实际中，创建一个既有高度物质文明，又有高度精神文明的现代化的生活环境，这就是要处理好经济效益和生态效益的问题。只有经济效益而使环境和生态受到破坏的事坚决不做，必

须坚持经济效益和生态效益兼顾、生态效益为主的原则,这不仅是生态农业本身的要求,也是我们的社会制度和实际国情所决定的。

(2)长远利益和当前利益问题

生态农业建设是一种持久发展战略,其特点是能保证生产持续稳定的发展。作为试点,必须认真对待这一问题,应该使农民从生态农业的建设、试验中也获得当前的经济利益,否则研究难于坚持下去。特别是在当前,农村普遍追求高经济效益的情况下,更为重要。因此在制定生产规划和研究计划时,要十分重视生产结构的调整。根据我们的体会,合理的生产结构应具备下列五个基本条件:

① 符合社会主义基本经济规律,能够不断满足人们对多种多样农业产品的需要。

② 能充分发挥自然资源的优势,因地制宜,扬长避短,保持生态平衡,形成一个良性循环的生产系统。

③ 各农业生产部门之间能经常保持协调和平衡,互相促进,建立一个不断扩大再生产体系。

④ 能够以最少的投资取得最佳的经济效果,不断增加集体和农民的经济收入,不断提高农民的福利文化水平。

⑤ 有利于应用先进技术,不断提高农业生产的专业化、社会化和现代化水平。在调整生产结构时,要特别注意处理好乡镇企业的设置和发展问题。近10多年来,农村乡镇企业获得迅速发展,对活跃农村经济、带领农民致富起了一定积极作用,但也给农村的环境造成了污染和破坏。不少农村为了致富而把环境和生态置于不顾,甚至提出了"要致富靠电镀","要发家靠翻砂"的口号。这和我们所进行的生态农业建设的原则是相违背的。我们再也不能做"以牺牲环境为代价,换取眼前经济利益"的蠢事。乡镇企业发展,只能按照生态农业的原则来进行。

(3)关于自力更生与政府资助的问题

这实际上是一个生态农业建设要不要政府投资的问题。我们知

道，长期以来凡是在农村搞科学试验或建设，政府都是投资的，因此，不少研究和建设，政府资助一旦停止，研究、建设也就停止了。更有甚者，提出研究和建设，目的就是要资助，这都是不对的。生态农业建设是一种持久发展战略，是一个长期建设发展过程，是整个农业改造建设的过程，是一项历史性的工程。因此不可能指望政府拿出大量的资金来资助生态农业的建设发展，必须依靠农民自身的力量，逐步积累，滚动发展。政府的支持主要也只能体现在政策的照顾和技术的支持，以及少量的试验资助，而建设还必须自力更生，依靠自己的力量。

关于工作方式

在研究工作方式上，正确处理好两个结合：一是自然科学同社会科学相结合；二是科学工作者同农民相结合。

（1）自然科学同社会科学相结合

生态农业的建设与研究，是个多层次、多因子的综合性课题，是自然科学和社会科学的结合。生态农业不仅要研究如何保护环境和生态、发展生产、提高经济效益，还要研究城乡商品流通、人口控制、乡村建设等问题，因此仅有自然科学工作者的努力是不够的。特别是当今新的技术革命高潮已经到来，自然科学和社会科学相互渗透，相互结合日益发展，对于生态农业研究这样的课题，采用单学科的“种子”技术也已不能解决问题，而必须采用多学科的“合成”技术，更何况生态农业包含着众多的社会科学内容。

（2）科学工作者同农民相结合

实践证明，生态农业建设不取得农民的支持，不吸收农民参加就不可能顺利进行，更不可能成功。在这方面，我国已有过不少教训。科学工作者同农民相结合，有利于培养农民科技队伍，保证生态农业建设持续发展。

6.4 积极开展生态农业建设与研究，加速实现我国农业现代化

我国农业现代化的任务，概括地说，就是要用先进的科学技术、工作手段和科学管理来改造农业各部门，在全国范围内大做文章，把所有的农业资源充分合理地利用起来，让生态系统更趋合理，尽量发挥农业潜力，以便用尽可能少的劳动耗费生产尽可能多的农产品，最大限度地满足社会对农产品不断增长的需求。

为了实现这一目标，就必须从我国的实际情况出发，认真总结我国自己的经验，虚心学习国外成功的经验，尽可能避免技术先进国家曾经出现过的弊病，走出一条适合我国国情的道路。

我国的国情如何？国力又如何？在实现农业现代化的过程中又应注意什么？下面我们来做一些简要的分析。

① 我国幅员广大，资源丰富，但人均耕地少，资源相对数量少。因此在农业现代化的过程中，要特别重视用“人多”的优势来转变“地少”的劣势。要十分珍惜和保护土地资源及其他农业资源，千方百计地提高土地的利用率和单位面积产量。同耕地情况类似，林地要提高单位出材量，水塘、鱼塘要提高单位产鱼量，草原要提高单位载畜量。另一方面，我们不能仅着眼于1亿公顷的耕地，同时要放眼于全国广阔的国土，充分利用草原、林地、山地、水域，农、林、牧、副、渔全面发展，向生产的深度和广度进军。充分利用我国劳动力多的特点，搞劳动密集型产品，用充足的人力进行农副产品加工，土地加工，精耕细作。

我国农民历来有吃苦耐劳、精耕细作的优良传统，在实现农业现代化的过程中，这种优良传统更应发扬光大，并使之与现代的科学技术相结合。

② 我国经济基础比较差，底子薄，扩大再生产的资金少。这样

就有两个问题需要我们认真考虑：一是农业现代化的资金从哪儿来？二是劳动生产率提高以后，多余劳动力到哪儿去？实际上这是一个农业现代化走什么道路的问题。显然，我们不能像资本主义国家发展初期那样搞资本原始积累，剥夺农民，使农民变成一无所有的产业后备军而大量涌进城市。我们农业现代化的资金，也主要是靠农民，靠农业内部积累。所以，还要千方百计使农民先富裕起来，积极开展多种经营，一种，二养，三加工，积极而稳妥地发展乡镇工业，走农、林、牧、副、渔全面发展，农工商综合经营的道路。

③ 我国农业一方面有着精耕细作的传统经验，另一方面科学技术还不很发达，农民的科学文化水平有限，还有30％的文盲、半文盲。所以，我们在实现农业现代化的过程中，必须把传统的经验和耕作技术同现代的科学技术结合起来。例如，我国应把传统的使用人畜粪肥、绿肥的经验，轮作等技术跟现代农业的物质、能量的投入及先进技术结合起来，走省能源、低消耗、低投入、高产出的道路。为此，很重要的一条就是努力提高整个农民的科学文化水平。否则，先进科学技术的应用是不可能的，农业现代化也将是十分困难的。

④ 由于我国地域广阔，各地区之间的自然条件和社会经济条件的差异极大，因此要特别强调因地制宜，分类指导，决不能搞一刀切，应允许并鼓励一些地区、一部分人先富裕起来，更好地帮助和带动其他地区、其他人。

综上所述可以看到，我国在实现农业现代化时所面临的基本情况，一是人多地少，二是科学技术水平低，但劳动力丰富。这就决定了我国农业现代化必须采取持续发展的战略。这个战略的基本方向就是：探索建立在生物技术基础上，充分利用太阳能和水，充分利用我国的劳动力资源和农业资源，充分利用各种先进的科学技术和管理方法，既使农业经济不断发展，又使农业生态处于良性循环的适合我国特色的农业发展道路。

历史的经验告诉我们，实现农业现代化，没有系统观点，没有生

态观点是不行的。生态农业的兴起及其成功的实践又给我们一些新的启示。生态农业不需要大规模的投资,只要充分利用太阳能和水,促进物质在系统内的多次重复利用和循环利用,就能获得稳定的、长期的经济效益,这跟我国当前家底薄,农业发展必须采取持久发展的战略是一致的。生态农业可以充分利用我国丰富人力资源,充分利用全国的国土,在广阔的平原、山地、草原、水面、林地上,因地制宜地建立各种不同类型的生态农业系统,为社会提供多种多样的农副产品。这跟中央一再指出的我国农业的发展方针的精神是一致的,即“绝不放松粮食生产、积极开展多种经营”。生态农业强调复杂的立体农业结构,要求多样化产品,这正是我们所提倡的“大农业”、“大粮食”的观点。生态农业以保护和改善生态环境作为自己的指导思想,以促进农业的良性循环为重要条件,这和我国“发展农业生产,必须保护农业生态平衡”的要求是一致的。而我国的传统农业具有有机农业的特点,很多都是符合生态农业的原则的。因为生态农业的建设与推广,不仅适合我国当前的国情和国力,也跟我国传统的农业习惯相符合,因此它是实现我国农业现代化的有效途径之一。

7 生态农业建设典型实例

生态农业系统的基本特点是低输入、高产出，既能保证农业生产持续稳定发展，合理安排农村加工工业，同时又可以保证资源合理而充分地利用，保护和改善农村环境和农业生态平衡。所以，生态农业建设不仅是发展农业生产之需要，也是人类创建一个优美、舒适、文明和高效率的生存环境之需要。因此，自 20 世纪 60 年代生态农业的概念提出以来，立即得到了世界各国的普遍响应，不论是发达国家还是发展中国家，都纷纷开始了理论研究和实践试验，创造了不少好的经验，涌现出一大批先进典型。下面向读者推荐国内外几个生态农业建设的示范工程和典型实例，仅供参考。

7.1　国外生态农业建设典型实例

菲律宾马亚农场

马亚农场位于菲律宾首都马尼拉附近，原是一

家私营的面粉厂。建于20世纪60年代末期,至今已发展成包括一个农场—饲养场—渔场的综合性农场,以及一个牲畜屠宰场,一个肉食加工厂和一个罐头厂的综合性农工联合企业。整个农场占地36公顷。至1981年,饲养有2.5万头猪,70头牛和1万只鸭。10多年来,马亚农场重视科研和生产实践的结合,开展了有机废料生产沼气以及其他途径的综合利用研究,建立了一个卓有成效的有机废料循环系统,使整个农林牧副渔生产形成一种符合生态原则的良性循环。它不仅使农场获得了很大的经济效益,同时在资源的合理利用、环境与生态状况的保护和改善方面,也取得极大的效益。马亚农场被认为是当今生态农业建设的典范。1980年亚洲基金会在马亚农场召开的国际会议认为,生态农业不仅是发展中国家保护资源、发展生产、保护生态环境的方向,而且也是整个人类经济发展中,充分利用自然资源、防止污染应遵循的基本原则。

(1) 发展过程

马亚农场最初是由Liberty面粉厂发展起来的。为了充分利用这个面粉厂在生产过程中产生的副产品麦麸皮,厂里建立了一个饲养场(距马尼拉80千米),开始发展畜牧业的研究。为了控制清洗畜场的脏水造成的污染,将脏水储存于一个污水塘中,然后作为肥料用于灌溉。

同时,还建立了一个养猪场。经过一系列的实验和研究以后,工厂又决定:第一,建立一个综合性的饲养—肉食加工和罐头制造工厂;第二,为了降低最后产品的运输费用,肉食加工厂应建在马尼拉;第三,饲养场应靠近工厂(实验指出,牧畜在从实验农场用船运到马尼拉时,体重要降低大约5%)。

随着农场的发展,后来在Amtipolo Hills附近找了一块24公顷的丘陵地,建立饲养场,取名马亚农场,并于1972年初,将饲养场的牲畜全部转移过来,养猪业也发展起来。

在对控制粪肥污染方法进行研究以后,最后选择和确定了应用

厌氧发酵的方法。当时用得最多的有五种不同类型的沼气池设计，分别为印度型、中国台湾型、中国型、非洲型和欧洲型。并进一步研究，建立了“污泥调节场”。

1973 年石油禁运开始后，马亚农场的能源供应十分紧张，为此，农场进行了以沼气代油的试验研究。结果表明，沼气可以取代部分燃料。此后，农场又开展了提高沼气产量和降低生产成本的研究。

到 1975 年，由 5000 头猪的粪便所产生的沼气已比农场—牧畜场—渔场所需的能量总和还多出两倍。1978 年牲畜发展得更快，到 1981 年时，猪的存栏数已达到 2 万头，农场的面积也从 24 公顷扩大到 36 公顷。

(2) 沼气的利用与研究建设

为了寻找在当地条件下最合适的沼气生产系统，由一批化学、微生物和工程方面的专家组成了各类研究机构，主要有：

① 化学实验室。主要进行原材料、产品和副产品的分析；

② 污染控制实验室。主要进行粪便和污泥污染情况的检测；

③ 微生物实验室。主要检验产品微生物的活性，后来又在该实验室中进行病菌的检验和污泥的维生素活性检验；

④ 批量投料沼气池研究实验室；

⑤ 连续投料沼气池研究实验室；

⑥ 饲料实验室。主要进行饲料的对比，肥效研究；

⑦ 沼气工业应用研究实验室；

⑧ 民用产品设计实验室。

经过一系列的实验和运转以后，建造了五种新型的沼气池，它们能适合本地的需要，并且作为中间工厂来试验实验室获得的结果。一座大型的沼气厂由 8 个批量进料的沼气池组成。每个沼气池均建有一个单独的储气罐。这种沼气池对设计和建造大型的商用沼气池是很重要的。

实验室中间扩大试验的初步结果表明，通过沼气生产可以很好

地控制空气的污染。而污泥调节场的建设,使固体污泥转化为饲料,使液体(污水)转化为肥料。

马亚农场的实验表明,对家庭的燃料供应来说,小型沼气池是比较合适的,而不必建设大型的沼气工厂。马亚农场先后研究、设计了四种不同类型的家用沼气池,三种商业规模的沼气厂和多种工业规模的沼气厂。详见表7-1。

表7-1 马亚农场的沼气池设计(截至1981年6月)

沼气池类型	运转时间	沼气池容积/立方英尺	沼气产量/(立方英尺·天)
带浮罩储气柜的连续投料立式家用沼气池	1972—现在	268	180
卧式,3间连续投料沼气池,分建式浮罩储气柜	1973—现在	490	300
卧式,3间连续投料带浮罩式储气柜沼气池(1980年起用于大型猪场)	1978—1980	250	160
商用农场规模沼气厂单道型卧式2间,连续投料带浮罩储气柜沼气池	1973—1978	2380	2000
2排,卧式2间连续投料式沼气池(1980年转为污水沼气池)	1974—现在	5760	4800
群集或排式24次投料式浮罩储气柜沼气池(1978年转为工业用)	1975—1978	19200	15000
3排2间水平式连续投料沼气池(1980年转为污水沼气试验池)	1975—现在	9000	7600
24个批量投料式沼气池组成的群集型,分建式浮罩储气柜。适用于农场—饲养场—渔场联合企业	1978—现在	18200	15000
4排卧式,连续投料带分建式浮罩储气柜沼气池	1973—现在	17600	15000

注:单位释意参见下文

续表

沼气池类型	运转时间	沼气池容积/立方英尺	沼气产量/(立方英尺·天)
24个批量投料沼气池组成的群集型沼气池,分建式储气柜	1977—现在	19200	15000
5排卧式连续进料分建式浮罩储气柜沼气池	1979—现在	23250	21000
6排卧式连续投料沼气池,分建式浮罩储气柜	1980—现在	27900	24000
建造中的工业规模沼气厂15个储气柜		35755	
4排卧式,连续投料沼气池,分建式浮罩储气柜	1980	18000	15000
8排卧式连续投料沼气池,6个分建式浮罩储气柜	1981	40960 26600	36000

此外,通过沼气生产和污泥调节场的处理,马亚农场真正做到了有效控制污染。目前,农场已将污泥的固体用于各种目的:动物饲料、农田肥料、制取维生素 B_{12} 的原料,以及造纸厂的原料。

(3)生物能的利用研究

马亚农场的生物能利用,有三种形式:沼气、发生炉煤气和酒精。

沼气

正如上面所介绍的,沼气是马亚农场的主要能源。其原料主要为猪粪,其次是牛粪。1千克含有75%水分的新鲜畜粪能产生的沼气量如下:

猪粪	56升
牛粪	28升

沼气含甲烷65%。其热值为650Btu/ft^3(2.4×10^{3}焦/米^3)①。15立方英尺的沼气燃烧产生的能量为1马力·小时,22.5立方英尺的沼气能产生1千瓦·小时的电力,35立方英尺沼气的热值相当于1磅液化石油气。

马亚农场在1981年当猪的存栏数为2.5万头时,除肉类加工厂和罐头工厂尚需政府供电35%外,农场所需的能源基本可以自给。到1983年猪的存栏数为4万头时,就完全不要政府供电了。

发生炉煤气

马亚农场种植了8公顷的椰子树和热带豆科灌木。灌木和椰子壳用来制造木炭,再由木炭制取发生炉煤气。制成的发生炉煤气主要用于开动机器。

酒精

除沼气以外,酒精是生物能应用的另一种主要形式。马亚农场在这方面也进行了一定的研究,并用于生产实验。酒精由木薯生产,然后蒸馏提纯。酒精平时一般不用,储存起来在汽油供应不足时使用。但农场规定每星期三用酒精工作一次,以使机器适应。

(4) 综合利用,多种经营

马亚农场在综合利用、多种经营方面,取得了很大的成功。在使用沼气的基础上,进一步研究废料的综合利用和开展多种经营,最后选定了三种形式,简介如下:

商业规模的农场—牲畜场—渔场

农场用12公顷土地种植谷类和大米两种作物,谷类能够满足48窝猪(包括3头公猪48头母猪以及长大到8个月的小猪)对谷物饲料的需求。

为了利用猪和牛的粪便,建造了一个沼气车间,沼气用于抽水和

① Btu为英制热单位,1Btu≈1055焦;ft为英尺的符号,1ft^3≈0.0283立方米;1马力·小时=2.648×10^{6}焦;1磅≈0.454千克。

发电，固体污泥用做饲料，液体污泥（污水）用做肥料。1975 年马亚农场根据菲律宾大学农学院的研究报告，应用藻类和微型海藻类代替大豆粉丝。藻类在箱中培养，应用稀粪肥作介质。马亚农场还从稀的液体污泥中生产绿色的微型海藻。另外，作为一种实验，在藻类箱中放了一对 Tilapia 鱼（一种非洲鱼），它们生长很快，于是就将海藻和藻类在鱼塘中生长，并作为鱼的饲料。

氧化塘中液体污泥表面生成的浮渣应及时除去，可以改善通风并将污泥暴露于太阳光下，浮渣和反刍动物的废物一起作堆肥，液体污泥用风力水车搅拌。

鸭子是吃粪肥的，但希望它们也能吃浮渣。农场就将糠和浮渣混在一起，然后逐步减少糠量，3 个月后，鸭子也就在氧化塘上游动并吃浮渣了。由于鸭子的游动，污水的曝气、充氧也就更好了。

此种类型的综合性农场基本情况如下：

农场—牲畜场—渔场的组成	面积/公顷
农场（分为 8 个部分）	12.00
灌木林	1.20
鱼塘	0.25
牲畜场和沼气池	0.25
农田建筑物	0.15
道路	0.30

这样，农场每年种植二季谷子和一季大米，饲养场有48 窝猪（每窝一头母猪及若干小猪），4 头水牛，2 头奶牛，30 头其他用途的牛，500 只鸭子和 2500 平方米的鱼塘。沼气池产生的沼气为 2000 立方英尺，可满足一台抽水泵、照明发电及猪房、孵化器等对能量的需要。固体污泥可供给猪饲料的 10%，鸭饲料的 50%。液体污泥用做农田肥料，而不需要化肥。液体污泥又是鱼塘的肥料，而鸭的排泄物又促使海藻和浮游生物的生长。

建设这种农场—牲畜场—渔场生产系统的好处是：

① 对土地能进行充分的、合理的利用；

② 农场内数种副业同时并举，共同发展，提高劳动者的效益；

③ 由于废物的循环使用，节省了能源和物质的消耗，因此使农场的粮食(包括蛋白质食品)和企业的其他利益得到提高。

家庭规模的农场

在商业规模的农场—牲畜场—渔场系统获得成功以后，又进行了家庭规模的农场的实验，它也包括农场、牲畜场和渔场。但只依赖自家劳力而不雇佣他人。最初的试验面积是1.0，1.2，1.5和2.0公顷共4种。实践试验结果，马亚农场选定为1.2公顷，其面积分配为：

农场组成	面积/公顷
农田(分三部分)	1.00
灌木林种植面积	0.1
鱼塘	0.02
牲畜棚和沼气房	0.02
农舍	0.03
道路	0.03
合计	1.20

基本建设投资(以1978年价值计，货币单位为菲律宾货币单位(比索))：

住房	4350
猪舍	7200
沼气房	4700
鱼塘	1150
合计	17460

农—工结合的综合性农场

当1975年发现5000头猪的粪便产生的沼气比猪舍、肉食和罐头加工厂所需要的能源多出两倍时，马亚农场就考虑如何去使用这过剩的能量了。其计划是将马亚农场逐步转变为牲畜饲养—肉食加工和罐头制造这样的联合企业，并使猪的存栏数每三年翻一番。

肉食加工厂和罐头厂包括一个屠宰场和一个冷冻厂。肉食加工厂生产火腿、熏猪肉、香肠以及其他特殊的产品例如鸭腿等。罐头厂生产肉食、面包、香肠等。加工过程中的下脚料则在脂肪提取车间加工为饲料。

到1981年6月，农场的牲畜饲养总数达到：猪2.5万头，牛70头，鸭子1万只。每天所产生的粪便可生产沼气7.5万立方英尺。主要用于：

① 罐头和食品部的烹调和热加工；

② 脂肪加工厂中的热提纯；

③ 2台内燃机泵的燃料，总容量为405加仑/分[①]，每天工作12～15小时；

④ 1台内燃机的燃料，用于功率为60千瓦/小时发电机工作，供给肉食加工厂的电力需要；

⑤ 1台内燃机的燃料，用于功率为12.5千瓦/小时的发电机工作，供给宿舍和食品部的照明；

⑥ 供给4台压缩机的内燃机燃料，主要用于肉食加工厂的冷冻工作；

⑦ 供给5台内燃机的燃料，用于沼气池的装料、卸料及搅拌；

⑧ 供给3台内燃机燃料，用于面粉厂粮食的粉碎，而内燃机的余热则用于废料加热。主要有以下几方面。

---

① 1加仑＝4.546升。

- 饲料液体的加热;
- 屠宰场中大槽柜清洗用的热水;
- 实验蒸馏车间的热需要。

由于马亚农场重视了废料的循环使用和多次重复利用,合理设计了工艺流程,因此沼气池的建造投资回收较快,平均年限为:

家庭型小沼气池	3.5年
小型商业规模型沼气厂	2.5～3.0年
容量为1.5万立方英尺或更大的沼气池	2.0年

马亚农场从系统发展生物能的过程中,获得了很好的经济和社会效益:一是减少了对能源(包括汽油、柴油、电力等)的需要;二是综合利用,节约了牲畜饲料对粮食的需要;三是很好地控制了饲养业和肉食加工厂等对环境的污染。

(5)成功的经验

从马亚农场的整个发展过程看,有很多的经验供我们参考,但主要有两条:

第一,因地制宜,充分合理地利用资源,建立了一个较为完整的符合生态学原理的农、林、牧、副、渔良性循环系统。

马亚农场的发展,不是硬搬外国的经验,而是充分贯彻因地制宜原则,而且一开始就注意了综合利用。每一技术的应用,每一步的发展,都是实际生产的需要,都是上一步工作的必然发展。农牧之间、农渔之间、牧渔之间、农牧渔和加工业之间,均能相互利用,相互促进,最后又通过生物能的利用将农、林、牧、副、渔有机地串联起来,形成一个符合生态学原理的良性循环系统。该系统的流程如图7-1所示。

由图7-1可见,马亚农场良性循环系统的整个工作流程:农田生产的粮食送至粮食加工面粉厂,面粉厂的麸皮,农田的秸秆以及树叶作为饲料喂养猪和牛。成猪送至屠宰场,肉送至食品加工厂和罐头厂,骨、血、皮等下脚料再送至饲料加工厂和脂肪提取厂。猪牛等

产生的粪便进入沼气池进行厌氧发酵，产生的沼气进入储气柜，一部分用于发电，一部分直接作为燃料。沼气池的残渣污泥，先送至沉淀池，将固体和液体分开，固体污泥送至污泥调节池，经处理后分别作为动物饲料、肥料和提取 B_{12} 的原料。液体污泥送至氧化塘曝气，然后送至农田。氧化塘由于营养丰富，生产大量水藻，水藻用来养鱼，水面又喂养鸭子。藻类不仅是鱼的饲料，同时又促进了浮游生物的生长。而鸭子的游动又对鱼塘起通风、充氧作用，促进了鱼类的生长。鱼塘水又是农田很好的肥料。通过这样一个循环，农场的有机废物几乎全得到了适当的利用。不仅有效地控制了有机废物对环境的污染，又合理地解决了农场生产和生活对能源、肥料和饲料的需要。使农场的土地利用、劳动力利用、生物能源的利用都达到了最佳状态。农场不但提高了粮食产量，而且增加了肉类、鱼类的生产，给农场带来了极好的经济效益。

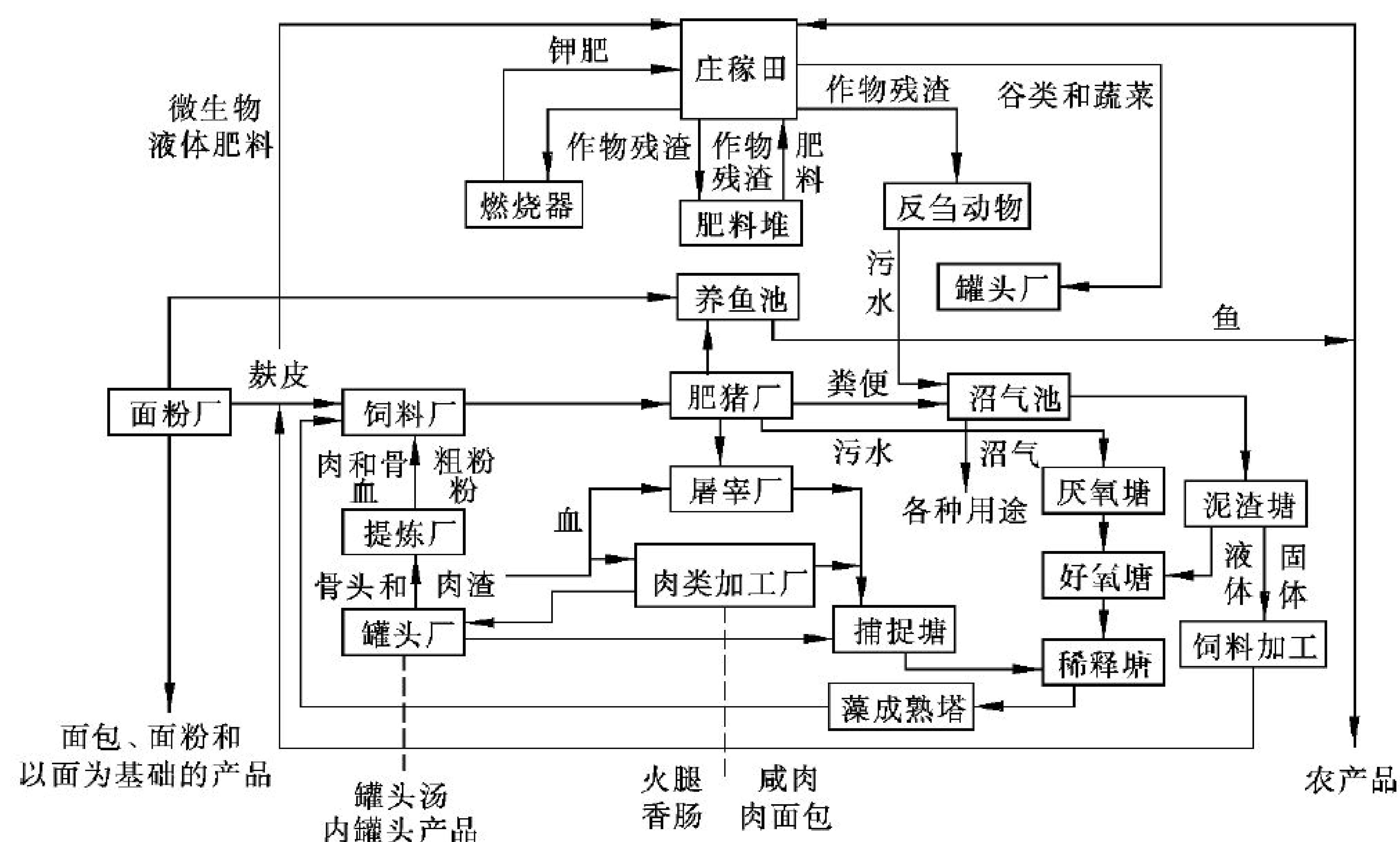


图 7-1　菲律宾马亚农场有机废料综合利用循环系统

第二，重视智力开发、智力投资，生产跟科学研究紧密结合，相互

促进。

马亚农场在发展生产的同时,十分重视科学研究工作。根据生产实际需要,先后建立了8个研究实验室,对生产中出现的实际问题开展研究。此外,马亚农场十分重视人才的培养,先后组织了4个协作网,分别为:

① 生物能和农业系统方面的协作网;

② 饲养场或农—畜—渔综合农场中沼气工厂的设计和操作人员的培训网;

③ 综合农场的设计网,包括沼气工厂的设计和操作人员的培训网;

④ 原材料的计划、制造和供给协作以及综合农场管理人员的培训网。

以色列的生态农业建设

以色列是个人口不多、面积不大的国家,且其自然条件不好,特别是水资源严重短缺。但以色列的农业生产却取得了举世瞩目的成就。1970年全国农业生产总值仅1.25亿美元,而1979年达到1.9亿美元,年平均增长率达15%以上。丰富的农产品如肉类、粮食、奶制品、水果、花卉大量出口,以色列被誉为“欧洲的厨房”。目前,以色列的农业生产每年仍以10%以上的速度在增长。

以色列农业生产的迅猛发展,被认为是一个奇迹。

(1) 以色列农业的结构

以色列的农业结构是以农畜业为主的。畜牧业的积累再用于扩大农业生产,以供出口。在畜产部门始终追求的:一是使用廉价的饲料、原料;二是减少饲料原粮的进口;三是以低廉的成本进行蛋白生产。

因此,以色列的耕地面积从1948年的16.5万公顷,扩大到1978年的43万公顷,即增加约1.6倍。同期灌溉面积从4万公顷

扩大到23万公顷，灌溉面积的比例从24%增加到54%。并且采用先进的灌溉措施，使用水量大为降低，而农作物生产却飞速增长。

其结果，以色列的农产品输出1973—1978年的5年时间内增加了2倍，而从事农业的人数在同时期则减少了2%。在农产品输出总额的750万美元中，柑橘266万美元，花卉90万美元，其他果品58万美元，蔬菜47万美元，棉花等12万美元，畜产品47万美元。自1979年以来，这样输出结构没有变化。

（2）以色列的农业形态及其因地制宜的发展

以色列的农业形态可根据两点加以说明。

① 自然条件十分恶劣

以色列冬季有降水且较温暖，夏季长而且干燥。南部的农业区完全没有降雨。北部冬季虽较温暖，但雨量极少。另有很多地区狂风和干燥十分严重。

从4月中旬到11月中旬无雨。若没有灌溉，就不能从事农业，而将冬天很少的雨水积蓄起来用作灌溉也很有限。因此，自然条件不好。100万公顷的农业用地中，有42万公顷靠降水可以栽培作物，另有15万公顷天然草地和林地正在开发。但是，尚有45万公顷土地雨水不足或灌溉水不足。

② 当地群众很多是移民，没有农业生产经验

在这种情况下，为了从原来的游牧粗放农耕向高效农业发展，以色列不断加强对农业的研究，并以此作为建国的基础。经过长期的摸索研究，终于找到了一条适合当地情况的农业发展道路，并建立了一定的组织形式，即农业生产合作组织。它们都是进行高效农业生产的基层组织。生产者使用现代技术，将科学技术转变为收获量。目前以色列全国共有611个农业合作组织。

在这些组织里，一部分人从事农业，其他人都是兼业者，这就是称为“农—工一体构思”的产物。随着农业生产力的提高，农业合作组织也引进利用剩余劳动力的工业部门。农业生产本身也将所有的

畜产品、谷物、果树、蔬菜、花卉等加以组合。其目的是把农业人口所有的生产能力加以充分利用。实践结果,以色列农业得到迅速发展,生产力急剧提高。

同时,以色列在充分利用水资源和良种方面做了很大努力,并卓有成效。

以色列农业以扩大生产力和向居民提供多样食品为目标。为了从有限的自然条件中充分利用对农业有用的资源,特别重视生产的计划性,极力控制过剩生产,为此成立了全国性的管理委员会。一方面重视本地区的消费,同时有计划地组织输出,在"为了最大限度地利用水和太阳能"的口号下,从10年前即开始鼓励输出,目前,已达到了相当的规模。

(3) 成功的经验

以色列农业的发展,取得了很大的成功,究其原因,主要有下述三点:

① 因地制宜地发展。特别强调了充分利用太阳能和水,把不利的自然条件中的积极因素充分加以发挥和利用;

② 科学和生产紧密配合。努力做到了农业发展以科学为基础,并适当采用当代的先进科学技术和管理为农业生产服务;

③ 合理的组织、管理机构。整个生产由管理机关统一计划安排,基层组织协调生产。

英国的家庭生态农场

英国是进行农业生态系统研究最早的国家之一,在理论研究和实践试验方面,都有不少成功的经验。沃尔顿教授撰写的《什么是生态农业以及如何进行生态农业建设》的论文,被认为是这方面的代表性著作之一。在实践试验方面,英国建立了众多的不同规模、不同类型的生态农场,在生态农场工作的农民达3万多人。

沃尔顿教授在谈到生态农业的社会及政治意义时指出，生态农业，由于它的规模较小，因而能容纳较多的劳动力，解决更多人的就业问题；由于生态农业工作的多样性，可以使农民增加工作的趣味性。家庭规模的生态农场，对于建立自给性的体系是十分重要的。所以，在英国很多生态农场都是家庭式的。现以英国东南部一个家庭生态农场——密尔顿农场的情况来介绍这一类的农场的工作情况。

密尔顿农场位于英国东南部，这是一个草原性生态农场，共占地13.6公顷，其中牧场占10.6公顷，天然保护地、森林和河岸湿地占1.6公顷，菜园占0.6公顷，小麦地占0.8公顷。

由于该农场处于河边，在雨季常被淹没，所以不能生长牲畜所需要的多种饲料。因此，每年需购进4.5吨大麦，一定量的混有高镁盐的无机混合饲料和12吨干草。此外，人员生活需用的茶、咖啡、油类亦需购买。

农场的经济收入主要来源于：

① 两用性小牛；所有的小牛均由母牛哺乳，其中的大部分在长到9个月时出售，只留一二只作为菜牛精养18个月到2年，自己屠宰后在农场的商店零售。

② 一小群母羊；一部分作为肉羊在市场上出售，另一部分则用来剪羊毛。

③ 数匹马；饲养并加以训练，可作为乘骑马或作为工作马。

④ 乳制品加工业；一头或两头奶牛产奶，牛奶可以直接销售或加工成奶酪、黄油、酸奶等，所有乳制品都出售。

⑤ 2～5头猪；猪主要作为“清扫器”，消耗处理农场产生的废物，并不另外喂以精料。猪主要用于屠宰后出售。

⑥ 鸭子、鹅、火鸡等家禽；数量不多，可根据环境决定饲养量，蛋和火鸡出售。

所有牲畜均尽可能地自由放养，雌雄放在一起，并不分栏。幼畜

均由母畜哺乳。

⑦ 菜园;提供新鲜蔬菜和水果,除农场自己消费外,还可以出售或贮藏起来。

⑧ 一小块未种植的土地用作野营游地,河里可以钓鱼和划船。

农场的劳动除由家庭成员担任外,还雇有一个全日制工人。农忙时雇一个短工和一个学生。

农场的每一项费用均有记录,1979—1980年的收入与支出情况列于表7-2。

表7-2 密尔顿家庭农场1979—1980年的经济情况

项　　目	总收入/英镑	总开支/英镑
两用牛	1449.38	265.00
乳制品加工业	222.93	5.10
羊、羊毛	584.47	7.70
马和骑马	1147.00	88.20
猪	51.37	75.00
火鸡	147.34	64.48
蔬菜和水果	54.15	36.81
野营	275.00	0
付给雇佣劳力的口粮及报酬	3800.00	3800.00
现金支付		1140.00
总计	7731.64	5484.29
盈利	1949.35	
毛收入/公顷	611.47	
盈利/公顷	83.41	
1972—1980年资金积累200.4%,年均增速25.05%		

由表 7-2 可以看出，农场赢利虽不很大，但却能说明：比较小的农场能够充分地满足有关生态农业发展的原则，即每单位面积可容纳较多的人力，即使老人和小孩也可安排合适的工作。不需要强化牲畜饲养业，在经济上可以保证生存并持续稳定地发展。

在经营方法上还可以适当改进，例如，在牛群养好以后，小的母牛继续喂养，然后出售成畜，这样比出售牛肉值钱得多，利润就会随时间的增长而增长。应该指出，这样的农场，不论采取哪种做法都不会亏损、衰退；这样的农场也不需要承包人；农场中所有的建设工作都可由农场的劳动力担任；农场具有较高的自给性。因此，能以较低的输出和花费，依靠自身的力量生存并发展。

7.2 我国生态农业建设典型实例

20 世纪 80 年代以来，我国的生态农业建设已由自发的实践活动转向为有理论指导的一种重要的农业生产方式。特别是广大科技工作者深入农村和农民结合，将理论紧密结合实际，努力探索，创造了不少好经验，取得了居世界领先水平的成果。同时，也建立了一大批生态农业建设的典型。这里介绍 5 个分布在我国不同地区的不同类型的生态农业建设典型。

全球“环境保护 500 佳”、世界生态农业新村
——北京市大兴县留民营村

（1）留民营村的基本情况

自然地理条件

留民营村位于京郊东南大兴县内，耕地面积130.47 公顷。该村位于永定河冲积平原，南临凤河，北临凤港河。地势较低，地下水源丰富，常年埋深 1.5 米左右，地面取水方便。土壤有机物含量 1.2%

左右。大兴县属暖温带半湿润季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春季雨少风多,秋季天高气爽,光能充足,年平均日照时数为2772.3小时,高于0℃的日照时数为2144.4小时,太阳能生理辐射年平均283.25千焦/厘米^2,年平均气温为11.5℃,无霜期201天,日平均气温稳定超过0℃的起始日为3月3日,终止日为11月25日,持续日数269天。大于10℃的积温为4580℃,始现日为4月5日,终止日为10月21日。年平均降雨量为568.9毫米,80%的保证率为422.3毫米。但是,降雨季节过分集中,降雨强度大,难以积存,因而利用的有效性差。

社会经济条件

全村904人,其中劳动力448人。村庄距北京市30千米,交通方便。村里有汽车14辆、大型联合收割机2台、大型拖拉机6辆、手扶拖拉机18台、大小农机具150多台,集体财产价值520万元。全村现有8～10立方米的家用小沼气池170个,100立方米、250立方米的大型沼气池各1个(分别建于1991和1997年),全村有太阳灶180个,节柴灶162个,太阳能热水器165个。

地方优势

留民营村积极利用当地自然条件优势,大力发展水稻生产,粮食总产量由1970年的20万千克增加到1982年的98.5万千克。近10多年来,上交国家的粮食超过700万千克。人均分配由1970年的86元提高到1982年405元。从自然条件及生产经验来看,水稻是当家的优势作物,80年代初亩产稳定在400～450千克。近年来,在北京地区严重缺水,不少村乡纷纷缩小水稻生产,转产其他旱地作物时,留民营村却充分利用水源优势,保证了水稻生产。由于国家实行奖励政策,特别是超产奖售更高,因此使水稻生产成为该村多年来致富的主要原因。

留民营村生产发展中的不足与存在问题

近10多年来,留民营村的生产虽有了很大的发展,但是也存在

一定的问题，这就是：

① 生产结构单一

1980 年工农业总产值中，种植业占 78％，畜牧业占 6％，工副业占 11.5％，林业只占 0.3％，没有渔业。

② 生态系统结构简单

由于生产结构单一，以种植业为主，一级生产者在系统中占主要地位，缺少有效利用一级生产副产品（秸秆等）的二级生产者。秸秆还田率只有 10％左右，小麦秸秆则全部在地里烧掉，宝贵的碳、磷、氮全部损失。这不仅是对资源的浪费，同时也不利于保持和提高土壤肥力。由于生产结构简单，食物链数量少，因此抗逆应变能力差。图 7-2 为生态农业建设前留民营村生产系统的能流、物流示意图。

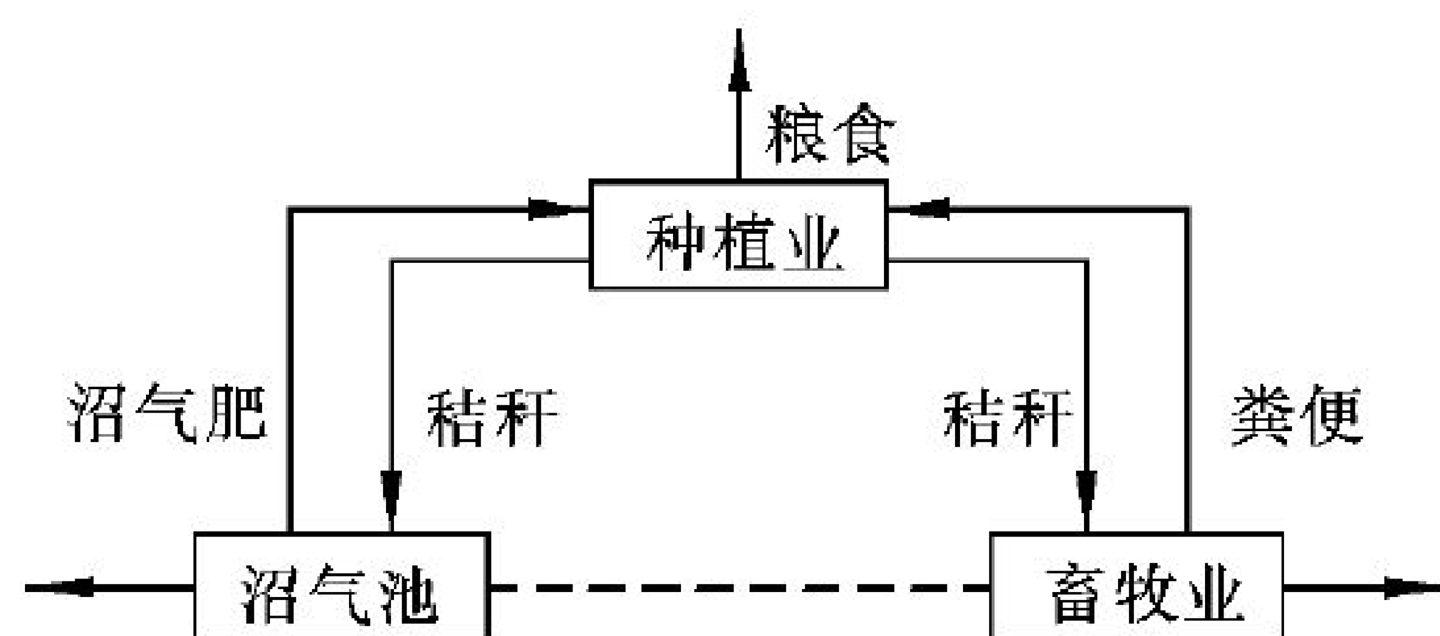


图 7-2　生态农业建设前留民营村生态系统的能流、物流示意图

由图 7-2 可见，生态农业建设以前，虽然也饲养了一定数量的肉牛，建立了家用小沼气池，但并没有跳出单一经营的圈子。沼气池的使用率和产气率也不高，生物能的利用率和废物循环利用率均很低。大量沼气渣和水白白流失，有机肥使用不多。种植业本身也是靠大量消耗物化劳动来维持。

③ 有机氮、无机氮比例失调

1980 年有机氮跟无机氮之比仅为 0.267∶1，因此造成氮素转化效率低，每 50 千克粮食消耗氮过大（2.9 千克），比大兴县平均水平（1.6 千克）高出 82％。

④ 化肥使用量过大

全村130.5公顷耕地,1982年使用化肥达30万千克,平均施用量在2250千克/公顷以上。长期大量使用化肥,造成了土壤板结、环境污染和生态状况的破坏。

⑤ 劳动力利用不充分

由于农、林、牧、副、渔未能全面发展,造成劳动力利用不充分;全村剩余70个劳动力无法安排,开始出现待业问题。若不广开门路,开展多种经营、势必影响劳动生产率的提高和人均收入的增长。

⑥ 林业薄弱

作为生态平衡核心的林业十分薄弱,全村森林覆盖率只有6.1%,低于大兴县的平均水平。特别是乔木、灌木结合不好,因而未能做到对自然资源的充分利用。

由于上述这些问题的存在,使留民营村农业生态的进一步发展受到严重阻碍。生产进一步发展,必须在生态经济学理论的指导下,调整生产结构,走农、林、牧、副、渔多种经营、全面发展的道路,使各业之间相互促进,做到既保持生态平衡,又加快经济发展。于是,留民营村在北京市环境保护科学研究院科研人员的指导和直接参加下,从1982年底开始进行生态农业建设。

(2) 留民营村的生态农业建设

留民营的生态农业建设,主要包括以下三个方面:

生产结构的调整与建设

其重点是改变村里原有单一的生产结构,努力提高畜牧业的比重,开展多种经营。国外生态农场的研究表明,在生态农业建设中重视发展牧业具有重要意义。首先,从生态角度看,人类对于初级生产者绿色植物所固定的太阳能的直接利用是极小的,如高产农田的光能利用率为2.6%,草地为0.1%~0.5%。动物则能把人类不能直接利用的绝大部分植物化学能储存于体内。由于动物的这一特殊生态功能,大大提高了能够直接利用的生物能量。其次,畜禽的排泄

物，又可作为有机肥还田，促进种植业的发展。从经济上看，这种生产结构的变化，能把价值极低的牧草、秸秆转化为价值极高的蛋、肉、皮、毛，能把畜禽的排泄物作为有机肥，提高土壤肥力，并转化为有经济价值的产品。

在具体的调整、建设中，又遵循以下几条原则：

第一，因地制宜，充分利用留民营村自然优势（水源丰富）和技术经济优势（劳动力丰富，种植业经验丰富，科学种田有一定基础）。在保持生产优质大米的基础上，利用种植业优势，重点发展饲养业和以农副产品加工为主的工副业，保证生产建设的健康、正常发展。

第二，正确处理生态效益和经济效益的问题。只重视经济效益而使环境和生态遭到破坏的事，坚决不做。例如工副业的发展，坚持为农业生产服务、以农副产品加工为主，不搞重污染或与城市工业争原料、争市场的产品生产。

第三，既考虑到村里的长远发展，又考虑到当前的利益，尽可能要当年受益，使农民的收入逐年提高。

根据上述原则和村里的经济状况，在1983—1987年期间，先后完成了下列工程项目的建设。

① 饲养业

奶牛场1个，存栏数80头。

蛋鸡场1个，年产蛋41.5万千克。

肉鸡场1个，年出栏肉鸡30万只。

瘦肉型猪场，专用于出售仔猪，存栏数250头。

鸭场1个，年出栏10万只。

种兔场1个，存栏数500只。

鱼塘4口，有效水面4公顷。

发展了原有的肉牛场，由60头增至98头。

② 工副业

建设小型饲料加工厂3座，加工能力为2.5吨/时。

建设面粉厂1个。

饮料厂1个,日加工饮料1.95万瓶。

豆制品加工厂1个,日加工黄豆100千克。

冰棍加工厂1个。

蛋品加工厂1个,主要生产松花蛋。

成立了机修厂和汽车修配厂。

此外,还建设1000平方米的蘑菇房,菌种培养室2间;大力发展了蔬菜生产,建蔬菜大棚40个,菜地总面积达15公顷。

村里原有的肥猪场和羊群也进行了规划改造。

由于上述工程项目的建设和原有项目的调整改造,初步改变了原有以种植业为主的单一生产结构和简单的生态循环关系,形成了多种物质循环,以及物质循环利用、重复利用的立体网络结构。例如:

- 种植业—饲养业—林业。种植业为饲养业提供饲料粮、秸秆,为林业提供资金;饲养业又为种植业和林业提供有机肥料;而林业又为饲养业提供饲料。
- 种植业—饲养业—沼气—渔业。种植业为饲养业提供饲料;饲养业、种植业为沼气提供原料;沼气渣、水又是鱼的好饲料,种植业的好肥料;畜粪还能直接进入鱼塘;塘泥又是肥田的肥料。
- 饲养业—饲料加工及豆制品厂—种植业—沼气—渔业。种植业为饲料加工及豆制品厂提供原料;加工厂产生的豆渣又是饲养业的好饲料;饲养业产生的粪便既是沼气原料,又是种植业的肥料;沼气渣、水既是养鱼的饲料,又是种植业的肥料;鱼塘的塘泥也是很好肥料。

除了上述例子以外,我们还可以找出系统内能流、物流的多重循环关系,而所有这些都形成一个以沼气生产为中心的大循环。

生产结构的这种发展模式的优点是:有利于第一性生产的植物资源的充分利用,可提高系统内废物再循环利用率,增加系统的经济

效益;系统结构的多样化,所容纳的生物种类就越多,彼此创造相互有利的条件,因而系统具有更高的生产效能和更大的抗逆应变能力,可增强系统的稳定性。

农业有机废料综合利用、循环利用

留民营村的农业有机废料综合利用,在3年多的时间内,逐步建立并完善了两种不同规模的综合利用模式。

① 家庭规模型

家用沼气池在留民营村有一定的基础。生态农业建设过程中,充分利用了这一有利条件,并在此基础上完善了家庭规模型的综合利用模式。沼气池和厕所及猪圈相通。猪圈为一两层的小房,上层养鸡或兔,下层养猪。沼气池上盖一塑料小棚,既利于沼气池保温,又可在棚内养花、种菜。鸡(或兔)粪由上层通过条隔板进入下层猪圈,成为猪饲料的一部分。猪粪和厕所里的粪便流入沼气池,加上部分青草和秸秆产生沼气。沼气供给农民生活燃料,沼气渣、水又是棚内蔬菜和花草的好肥料。菜叶、花茎又是鸡(兔)的饲料,又可发酵产生沼气。这样就形成了一个鸡(兔)—猪—沼气—菜(花)的小型循环系统,其循环使用情况如图7-3所示。

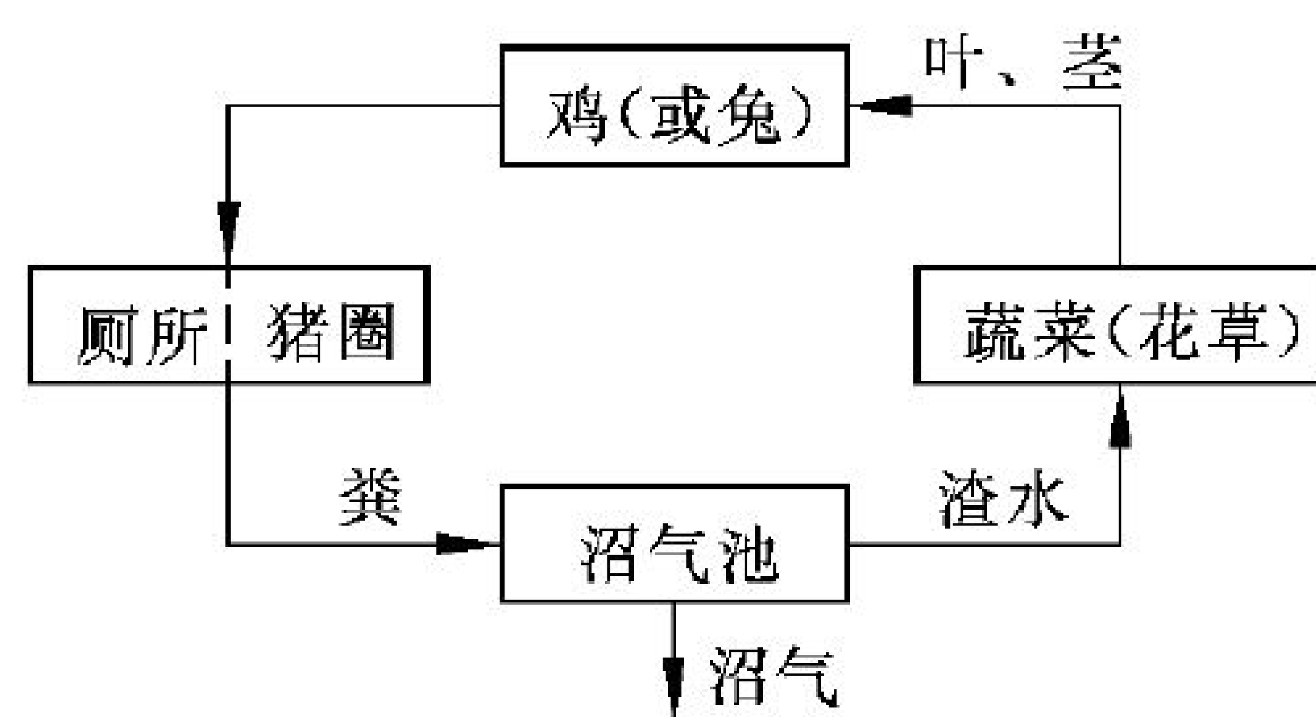


图7-3　家庭模型综合利用示意图

② 系统总体型

这一综合利用模式是建立在全村农、林、牧、副、渔多种经营的基础上的。通过这一综合利用模式,将全村各行各业有机地串联起来,

形成一个相互促进的良性循环系统。其能流、物流及有机废料的循环利用情况如图7-4所示。

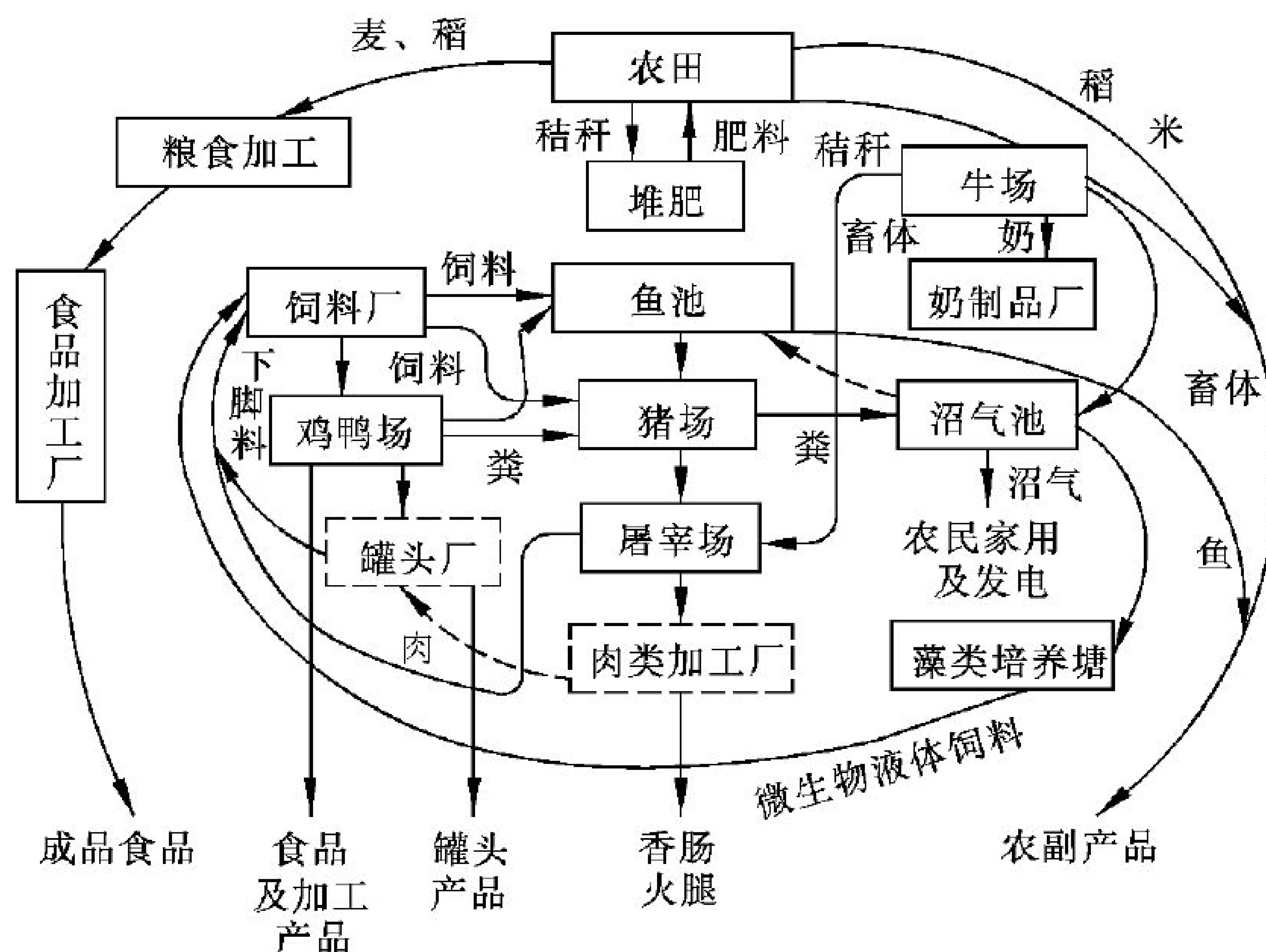


图7-4　留民营生态农业系统内能流、物流及有机废料循环利用示意图

有机废料综合循环利用产生了良好的结果：提高了生物能源的利用率、减少了系统对外部能源的需要；促进了系统内粮食、饲养业生产的发展，增长了经济效益；降低了污染，净化了环境，改善了生态状况。

新能源建设

能源是影响农业发展最重要的因素之一。西方石油农业最大的弊病之一就是能源消耗过大。那种高能量的耗费是我国所不可取的。生态农业最基本的特点之一，就是要尽可能地做到自给自足，其中也包括能源的自给。而能源问题的解决方法，按照生态农业的观点，主要在两个方面：一是努力提高太阳能的利用率；二是提高生物能源的利用率。

留民营村的太阳能利用主要有三种形式：太阳灶、太阳能热水器和太阳能采暖房。

① 太阳灶；留民营村现有采光面积为2.6平方米的ZNT-Ⅱ型太阳灶10个，采光面积为2.0平方米和1.5平方米的薄型太阳灶分别为10个和160个，即每户一个太阳灶。

② 太阳能热水器；全村共有容量为150千克水的太阳能热水器165个。在4～10月间可以使用，扣除20%的阴雨天气，全年可使用171天。

③ 太阳能采暖房。全村共有太阳能采暖房38间，以冬季使用4个月计，扣除20%的阴雨雪天，全年可使用69天。

留民营村的生物能利用以沼气为主，但以往使用时间短（全年仅2个月），且产气率不高。每天1立方米的池体产沼气0.1立方米。生态农业建设后，通过改变投料比，采取保温措施，增设搅拌装置，增加接种物，因而大大提高了产气率和延长了使用时间。最高产气率为以往的3倍，并且使用时间达到了6个月。这就大大节省了对矿物燃料的需要，减少了农民开支，净化了环境。

太阳能和生物能利用相互补充，表现出在时空分布上不同的多层次和多形式利用，形成了一个新能源利用网络，使留民营村农民的生活用能源基本上得到了解决。过去那种传统的燃烧秸秆和柴草的局面已得到根本改善，“烟熏火燎拉风箱，两眼泪汪汪”的状况在留民营村已一去不复返了。

（3）留民营村生态农业建设的初步成效

留民营村的生态农业建设，经过6年多的努力，已取得初步的、但却较为明显的效益。

经济效益

1988年全村工农业总产值达1140万元，比建设前1982年的69万元增长16倍。6年的平均增长率达60%。1988年全村人均分配1600元，是1982年405元的3.8倍。

生产结构的调整,使产值结构发生了很大的变化。以1988年和1982年相比,各行业产值情况如表7-3所列。

表7-3　1988年和1982年各行业产值的比例(占总产值的百分比)

行业 年份	种植业	林业	饲养业	工副业	渔业
1982	78	0.3	6	11.5	0
1988	26.7	0.6	25.7	36.5	0.7

由表7-3可见,通过生态农业建设,生产结构的调整种植业比例有了很大下降,工副业和饲养业的比例有了较大上升,反映了生产结构正在向合理、稳定的方向发展。

生态效益

一般说来,生态效益需要较长的时间才能明显地表现出来,但在留民营村,生态环境的改善已有了初步成效。主要表现在:

由于饲养业的发展,沼气的推广,产生了大量的优质有机肥,使化肥的施用量不断减少。生态农业建设前的1982年,全村用化肥30万千克,1988年全村使用化肥9.5万千克,而粮食产量却不断上升。化肥用量的大幅度下降,不仅节省了开支,而且使土壤的理化性能变好。土壤的有机质含量由1982年的1.2%,上升到1987年的1.5%,有些田块达到2.0%。

生态农业建设有效地促进了自然资源的充分合理利用。如秸秆还田率由原来的10%提高到85%,光能利用率提高了27%,能量转换率提高了34.5%。

由于新能源建设,牲畜粪便通过沼气发酵后才施入田里,因此不少污染病菌在发酵过程中被杀死。例如大肠杆菌90%以上被杀死。往年留民营村每到夏天均有肠道传染病发生,自1983年以来,则没有一个此类病例。

由于植树造林，绿化、美化的建设，如今的留民营村，遍地鲜花，环境优美。

社会效益

生态农业建设带来的社会效益十分明显，主要表现在以下五点：

① 解决了农村就业问题

留民营村原有剩余劳动力 70 人，安排困难。由于生态农业建设，多种经营与综合利用的开展，不仅使剩余劳动力全部得到了安排，而且还从社会上吸收了 100 多名闲散劳力。

② 生态农业建设有力地促进了村镇建设

以 1988 年为例，全村新建住宅 6900 平方米（其中楼房22 栋，4400 平方米，平房 2500 平方米）；生产建设用房 2670 平方米，修建道路 8333 米。1988 年还兴建自来水厂一座，其化验室、配水室、水塔、泵房等配套设施齐全，全村铺设了地下水供水管道，从根本上改善了农民的生产和生活用水，保障了生产发展和农民健康。

③ 向社会提供了大量的农副产品，丰富了市场

以 1988 年为例，留民营村向首都市场提供了粮食60 万千克，蔬菜 250 万千克，肉类 113.9 万千克，蛋品 41.5 万千克，牛奶 12.5 万千克，鱼品 1.0 万千克，水果 3.75 万千克，饮料195 万瓶。此外还提供了饲料 290 万千克。

④ 培养、锻炼了一支农民科技骨干队伍

全村直接参加生态农业建设的有几十人，他们都不同程度地受到专门训练，不少人成了各自负责项目的行家。事实证明，几年来，留民营村不论男女老幼，人人关心生态农业建设。科学种田的思想如此深入人心，这在我国农村确实是罕见的。这深刻地反映了我们的农村正在经历着一场前所未有的变化，无疑将对我国农业现代化产生深远的影响。

⑤ 改变了农民对环境保护工作的认识和看法

过去农民只知道环境保护工作就是抓罚款，卡脖子，现在认识到

了环境保护工作是在做生态农业建设,是在做造福于子孙后代的大好事。

留民营村生态农业建设的显著特点,是将生态学原理跟经济发展相结合,将生产发展、乡村建设跟农村环境保护相结合,特别是将生态学的能量流、物质流、系统平衡原理和经济学的价值流原理创造性地应用于生产和生态环境保护的实践。留民营村生态农业建设取得了显著的效益,得到国内外高度评价。1986年第四届世界生态学大会认为,该项研究打破了多年来生态学研究偏于理论的沉闷局面,开创了生态学应用研究的广阔领域,既是对生态学的重大贡献,同时也是对环境科学的一大发展。1988年第十届世界未来学大会认为,该项研究不仅对中国未来农业的发展有着重大作用,同时对世界未来农业的发展也有着重要意义。自1984年以来,到留民营村参观考察的外国专家学者有来自100个国家和地区的3000多人。

留民营村的生态农业建设不仅得到国内外专家学者的高度评价,而且也得到很多国际组织的充分肯定。1987年留民营村被联合国环境规划署评为全球"环境保护500佳"之一,并命名留民营村为世界生态农业新村。

在国内,该项研究成果荣获1986年全国环境保护部级科技进步一等奖;1987年荣获北京哲学社会科学和政策研究优秀成果一等奖;1988年荣获国家科技进步一等奖。这些都充分肯定了留民营村的生态农业建设对我国农业发展、乡村建设、农村环境保护和科技进步所起的巨大作用和深刻影响。

(4) 在可持续发展的道路上阔步前进

1988年以来,留民营村(现已被北京市命名为留民营生态农场),在已取得成绩的基础上,不断前进,开始了更加深入,更大规模的生态农业建设,并不断取得新的进展。

生态农业建设进一步完善发展

这表现在下述五个方面。

① 农业生产结构进一步调整，生产条件有了明显的改善

为了实现“两高一优”农业，新建日光蔬菜温室5.33公顷，使菜田面积达到16.67公顷，新建果园7.33公顷。在种植结构上，改水田为小麦、玉米两茬平播。这种调整，使农业走向市场，产生了明显的经济效益。与此同时，又先后投资10万元，加强了水利与农机的基础设施建设。目前，所有农田都实现了喷灌化和生产全过程的机械化。

② 畜牧业有了大发展，经营机制更加灵活

从1988年开始，留民营村的畜牧业有了很大发展，目前形成了4个大型养殖场。其中养殖蛋鸡10万只，商品鸭20万只，商品猪5000头，奶牛100头，每年向首都提供鲜蛋130万千克，家禽30万只，肉类90万千克，牛奶20万千克，成为京郊一个规模较大的农副产品生产基地。与此同时，又努力转换了各个养殖场的经营机制，形成了产供销一条龙，实现了系列化生产。各个养殖场先后建起了种禽场、孵化间、小型饲料厂和屠宰加工厂，使经济效益有了大幅度提高。

③ 大力植树造林、建设绿色田园

近10年来，前后进行了三期绿化工程，圆满地完成了生态林业建设的规划。以“两路两果一个网和两环两厂（场）一个园”为指导思想，按乔、灌、草结合，阔叶树与常绿树相结合的设计方案，完成了农田林网和百亩片林、百亩苗圃建设，营造了环田林和环村林。共计植树4.2万株、荆条25万墩、花卉9000株，林木覆盖率达到了25%，使留民营村的林业建设形成了一个多树种、多层次、多功能、多效益的立体型生态林业结构。近年来，留民营村连续被评为首都美化绿化先进单位和全国农田林网先进单位。

④ 大型高温发酵沼气工程竣工并正式投入正常运转

沼气是留民营村农业生态系统的中心环节。1991年，留民营村与联合国开发署合作兴建了100立方米的高温发酵工程，用以替代了过去的家用小型沼气池，实现了全村集中供气，不但能常年为

240户农民提供沼气,而且还对沼气残留物进行了综合利用,既净化了环境,又增加了收入。1997年,又一座250立方米的高温发酵池建成并投入使用。这不仅使留民营村的全部生活用能完全解决,同时还为沼气发电创造了条件。

⑤ 乡镇企业有了突破性发展

1988年以来,除对原有小企业进行改造扩建以外,还努力改善投资环境,充分利用生态村的优势,吸引外资和技术。近几年来,新建一批工厂和合资企业,如年产鸭15万只的烤鸭场、薄壁无缝钢管设备有限公司、派恩旅游制品有限公司、汽车散热器厂等,新增产值9000万元。新规划的工业小区已初具规模。

村镇建设,日臻完善

集体经济实力的壮大,群众收入水平的提高,加快了村镇建设的速度,乡村城市化的梦想在留民营村正逐渐变成现实。这表现为下述两个方面。

① 农民住房进入小康

到目前为止,共建农民住宅楼180栋,平房60座,总建筑面积4.8万平方米,每户住房面积平均200平方米,人均住房面积50平方米,99%的农户都迁入了新居。

② 集体公共福利设施更加配套

村里投资350万元完成了如下建设工程:

- 青老年活动中心一座(内设娱乐厅、游艺室、书画室、图书阅览室和舞厅),建筑面积800平方米。
- 新建高标准教学楼一座(内分小学校、幼儿园和成人教学楼),总建筑面积为1700平方米。
- 新建了占地1公顷的村庄公园,园内亭台楼阁,假山流水,鸟语花香,为农民提供了一个休息娱乐的好地方。
- 此外,还新建了商店、医疗室、办公楼和篮球场。家家户户都通了水泥路、安装了程控电话。地下还形成了供水、供电、供气网络,

一个现代化的新村已初具规模。

1997年,留民营村产值达1.5亿元,人均分配6000元;连续10年被评为北京市先进党支部、首都精神文明单位。今天,留民营村已成为我国生态农业建设的光辉典范,并继续在可持续发展的道路上阔步前进。

大型农业生态工程——胜利油田生态农场

胜利油田生态农场地处黄河三角洲南侧、莱州湾西岸渤海滨海平原、山东省东营市东南部六户镇境内,东经118°30′～118°39′,北纬37°17′～37°27′;东距黄海20千米,西距东营市18千米。它是山东省打鱼张引黄灌区四干和五干下游的主要农垦区。它的前身是山东省公安厅所属的一个劳改农场。胜利油田开发建设后,农场被油田接管,成为胜利石油管理局下辖的一个以农副产品生产为主要任务的二级单位。1988年,油田为保障农副产品的供应,稳定职工队伍,促进油田的建设发展,决定加强农副产品基地建设,发展生态农业,建设生态农场。整个建设历时8年,取得了显著的经济、环境和社会效益,成为黄河三角洲中低产田改造、发展农业生产的典范。它作为迄今为止我国最大的一项农业生态工程,已为我国生态农业的发展,特别是大型农场的生态农业建设积累了宝贵的经验,同时为开发黄河三角洲、矿区(油田)的生态恢复探索了道路。因此,胜利油田生态农场的建设研究,不仅具有重要的实际意义,而且具有深远的社会意义和历史意义。

(1) 生态农场基本情况

自然地理条件

① 地形、地貌

生态农场位于黄河近代决口沉积平原,是典型的平原地区,整个地形呈西高东低的倾斜地势,全区海拔最高5米,最低3米,坡度为

1/8000～1/10000。地势相对较低。生态农场所辖地区大多属缓岗与浅平洼地之间的缓平坡地。由于本地区成陆时间较短,地势低平,因而没有摆脱海潮侵袭的影响。农场土壤盐分跟海水基本相同,为氯化钠盐。地表土层多为重壤、中壤或粘土。全区土壤含盐量一般为0.9%～1%。已改良的土壤含盐量约在0.4%左右,有的高于0.6%,不适合农作物和林木的生长。因此,从全地区看,盐碱地的威胁依然存在。

② 气候

生态农场地区的气候属暖温带湿润大陆性季风气候。年平均气温为12.4℃,1月份最低,7月份最高。大于等于10℃的有效积温为4363.8℃,平均间隔205天,大于等于20℃的有效积温为2567.5℃,平均间隔125天。无霜期186天,年平均日照2500小时。夏季多为偏南风,冬季多为西北风。总的气候特点是:春季干旱多风,夏季降雨集中,秋季天晴气爽,冬季寒冷干燥。从总的自然地理环境看,农场地区四季分明,气候适宜,很少极端天气。夏季热量充足,但光照条件不好;秋季光照条件较好,但热量稍差。对一年两熟的热量要求来说,稍显不够。

③ 水资源

• 降水　根据连续36年的观察资料,农场地区多年平均年降水量为555毫米,最高年降水量为945.3毫米(1953年),最低为251.9毫米(1984年),这表明,降水的年际分配极不均衡。从降水的四季分配来看,年平均春季(3～5月份)降水占全年总降水量的12%;夏季(6～8月份)占66%;秋季(9～11月份)占19%;冬季(12～2月份)占3%。从蒸发量来看,年平均为1888.7毫米,其中春季占34.8%,夏季占36.4%,秋季占19.7%,冬季占8.9%。由此可见,春夏两季是积盐旺季,应注意采取耕作措施,减少盐碱危害。

• 地下水　本地区由于受海水作用影响,地下水多为海水型,浅部地层几乎没有淡水,淡质地下水十分缺乏。1980年以来,农场所

凿6眼供水井，井深都在600米左右。从抽水试验结果看，淡水含水层埋深均在462～535.5米。水质的矿化度为642毫克/升，总硬度为1.96°d(°d为德国度的符号，表示水的硬度。例如1°d可写为ρ(CaO)＝10毫克/升)，属淡质低硬度水，但pH达到8.75，含氟2.08毫克/升，不适合于饮用，也不能长期作灌溉水源。

• 地表水　地表水是生态农场的主要水资源，是农场生产、生活的主要依靠。但本地区无天然河流，因此地表水除极少部分来自降雨以外，全部来自黄河，通过打渔张引黄灌溉工程的四干和五干引入，经过农场地区大大小小水库、池塘加以调节，供给生产和生活用水。农场地区水库、池塘总面积达310公顷，库容约320万立方米。正常年份，黄河水完全可以满足生产、生活需要，但近几年来，黄河水源不足，连年断流，使农场生产受到很大影响。因此，水资源仍是制约农场乃至整个油田生产的关键。

④ 风力资源

生态农场地区年平均风速为3～4米/秒的频率占5％～8％；大于等于2～5米/秒的频率占64.6％；大风日多集中在春季。由此可见，本地区具有一定的风力资源，并可成为降低潜水埋深的提排能源。

社会经济条件

① 土地资源

生态农场土地总面积2107.12公顷，其中粮田820公顷，占土地总面积的38.92％；菜地面积40.6公顷，占土地总面积的1.92％；经济林面积76.8公顷，占3.6％；林带与片林面积50.10公顷，占2.37％；水库、池塘、沟渠占地504.3公顷，占23.93％；交通道路占地14.8公顷，占7.06％；居民点占地251公顷，占11.91％；此外，尚有未利用的土地215.5公顷，占10.23％。

从农田潜水盐化和矿化度测定结果看，农场地区土壤盐碱化的危险依然存在，次生盐碱化的威胁还相当严重。

全农场土壤有机质的平均含量为1.48%,碱解氮为67.6毫克/千克,速效磷37.8毫克/千克,肥力属中等水平。

② 人口、劳动力

农场地区共有5207人,其中劳动力2632人。在全场职工中具有大专以上文化程度的54人,中专、高中程度的110人。全场共有专业技术人员257人,其中工程技术人员48人,农业技术人员50人。可见农场的工程技术和科研人员还是比较集中,专业也比较齐全,这是一般农业生产单位所不具备的。预测表明,农场地区总人口将由增加型向稳定型过渡,并逐步走向减少型。从年龄结构分析,将由目前的年轻型向老年型转变。劳动力将日益紧张,并成为农场经济发展中的一个重要限制因素。

③ 交通

胜利油田生态农场的交通十分方便。由农场乘汽车至东营市即可转乘火车至全国各地,公路运输不仅可直达邻近各县,而且每天都有班车至省内各市县。特别是“七五”期间,油田又新修建了机场和港口码头,投入使用后,海、陆、空交通将变得更加方便。这对农场的经济发展和对外交流可起促进作用。

④ 能源

生态农场为油田的下属单位,地处油田之内,特殊的地理位置和隶属关系,使农场的能源供应十分充足,生产、生活需要的煤、电、油料、液化气等均可得到供应,保证了生产发展和职工生活对能源的需要。

⑤ 农业机械化

农场生产的机械化程度较高。全场农业机械设备总量达393台,机械总动力13239千瓦,平均每公顷耕地16千瓦。其中运输车辆24台,大中型拖拉机44台,排灌动力机械32台,播种机、收割机等115台。此外,还有蜜蜂2号飞机1架。农田机械化作业达85%以上。目前全农场的耕地、播种、小麦收藏、植保、运输等作业基

本实现了机械化，仅玉米间苗、蔬菜、水果生产等尚需人力作业。

（2）生态农场建设的理论依据、指导思想

理论依据

生态农场的建设就是要在生态经济理论的指导下，建设一个社会、经济和自然环境协调发展的人工生态系统。这不仅包括经济建设，还包括城乡建设和环境保护，通过对全农场社会经济、科技发展和生态环境的统筹规划、综合治理，实现社会、经济和环境的同步协调发展，实现宏观整体效益和部门效益，长远利益和当前利益，社会效益、经济效益和生态效益的统一。

因此，复合生态系统理论是农场建设的基本理论依据。

指导思想

农场建设的指导思想是：遵循可持续发展要求，坚持以保护和改善区域的农业生态环境和维护农业良性循环为中心，坚持发展生产、经济效益和环境效益统一为基本原则。坚持依靠科技进步，坚持从实际出发，实行领导、科技人员和农场场员的三结合，在充分调查研究和现状分析的基础上，通过规划的编制和实施，逐步将农场建设成为高产、优质、低耗的农业生产系统和高效、稳定、合理的农业生态系统。

（3）生态农场建设

胜利油田生态农场的实际建设主要包括以下几个部分。

调整产业结构，强化经济建设

胜利油田生态农场在建设过程中，根据市场经济的特点，在坚持为油田服务、保障油田供给的前提下，对生产结构进行了大幅度的调整。

对种植业降低复种指数，逐步由一年二熟制改变为二年三熟制，做到用地养地结合；充分利用有机肥源，合理使用化肥，努力提高经济效益，使种植业真正成为各业发展的基础。

对蔬菜生产，则通过新技术的运用，提高复种指数。同时，加强

基础设施建设,改善品种布局,发展无公害蔬菜生产,扩大保护地栽培。

对畜牧业,大力饲养草食动物牛、羊等。同时,充分利用水资源,发展水产养殖,进一步加强管理,充分体现畜牧业对种植业的支持作用和对工副业发展的促进作用,使畜牧业成为农业发展的中心环节。

对林果业,以充分发挥生态效益、改善农业生态环境为主,充分发挥林业对农业的保障作用。不断扩大经济林面积,提高经济效益,提高森林覆盖率,完善防护林体系。同时,大搞四旁植树,开展家属区、家庭庭院的绿化美化建设。

对工副业,重点发展以农副产品加工为主的配套加工业,巩固并稳步发展以经济效益为目的的一般工副业,使工副业从不同角度进入系统的良性循环网络,充分发挥工副业对农业发展的支持作用。

8年来,扩建、新建的工副业有:

① 生态型工副业

面粉加工厂、油脂浸出厂、饲料加工厂、木材加工厂、酱制品加工厂、肉鸡加工厂、综合食品加工厂。

② 一般型工副业

乙炔气厂、羧甲基纤维素厂、修配厂、钣金厂、电焊条厂、节能技术设备厂。

通过产业结构的调整与建设,胜利油田生态农场的生产面貌和产业结构发生了很大变化,经济效益显著提高,产业结构日益合理,生态环境得到很大的改善。

农业生态工程建设

由于生态农场所处的特殊地理位置和独特的生态环境以及多年来形成的生产模式,对农场生产和经济的进一步发展有较强的制约作用。主要表现为:水资源严重缺乏;水利工程老化;种植业生产的粮食由于气候的影响有时不能及时处理,形成浪费;养殖业均衡生产

差,综合效益低;生产的良性循环由于产业结构的影响尚未形成。

根据上述情况,生态农场在建设研究期间,大力开展了农业生态工程建设,主要建设工程有:

① 抗洪排涝封闭区及强排站建设

整个建设分为 4 个封闭区。每个封闭区内,沟渠互相贯通,形成一个完整的网络,同时在适当位置建设强排站,4 个封闭区的总控制面积约 20 平方千米,总排涝能力达 16542 米^3/时。封闭区和强排站的建成,每年减少旱涝灾害损失 300 万元。

② 水库增容工程

农场现有大小水库总面积 310 公顷,库容约 320 万立方米,其中王岗水库面积 55 公顷,蓄水量 130 万立方米。其主要功能为负担农场地区的人畜饮水、农田灌溉及工副业生产。但多年来由于水土流失,水质恶化,库容减少,至 1989 年,已减至 100 万立方米。1990 年开始对王岗水库开展彻底的改造工程。整个工程步骤分为清淤、水泥库墙护砌、库边植树造林。完工后,库容量比设计能力提高 1/3,比改造前增加 1 倍,目前蓄水量达 200 万立方米,基本满足了工农业生产和人、畜饮水的需要,年经济效益达 200 万元。

③ 农田喷灌工程

分为定位喷灌和移动喷灌两种形式,大大节约了水资源,并使整个系统的生态工程日趋完善。喷灌工程的建成与投入使用年增经济效益 100 万元。

④ 斗渠改造工程

1992 年开始斗渠改造工程,并使之与封闭区和强排站配套,基本上做到了旱能浇、涝能排,使农场的灌水周期缩短了 4 天,为农业丰收创造了条件,年增经济效益达 100 万元。

⑤ 粮食处理中心

该中心主要包括烘干能力每小时 25 吨的烘干机 1 台,储粮总量为 3960 吨的 9 个筒仓以及相应的初选复选机械、传送设备等。操作

全部机械化、自动化。中心的建成,不仅减轻了体力劳动,每年节省劳动力5000多个,大大提高了劳动生产率,同时每年避免了总产量10%的粮食损失(约50万元)。

⑥ 工厂化种猪场

猪场包括12个车间,其中配种怀孕车间2座,分娩车间1座,保育车间1座,育成车间4座,育肥车间4座,总面积6644平方米。

建成后的种猪场大大提高了劳动生产率,降低了饲料消耗,缩短了饲养周期,提高了出栏率和商品率,目前猪场年产商品猪10340头,平均每头母猪提供商品猪17头。育肥猪的日增重量由650克提高到720克以上,每头育肥猪的饲养成本下降80多元。猪场年纯利润达50万元。

⑦ 植树造林,建设绿色工程

生态农业建设以来,全场春秋两季大力植树造林,连年不断,7年来累计植树造林360公顷(包括经济林、林带和片林)。全场的林木覆盖率由1988年的6.2%提高到1993年的16.6%。使全场的生态环境得到很大的改善。

农业生态工程建设,不仅带来了显著的经济效益,同时产生巨大的环境效益,一个良性循环的生态系统正在逐步形成。

⑧ 沼气工程建设

胜利油田是我国重要的石油生产基地。在这里实施沼气工程建设具有特殊重要意义。它不仅是生态农业建设的中心环节,使不完整的传统农业循环转变为完整的良性生产循环,极大地改善农业生产环境,使资源的利用更加充分合理,同时可以节省大量的原油和天然气资源,为化工生产提供更多的原料,其意义是深远而广泛的。

胜利油田生态农场沼气工程工艺流程如图7-5所示。

该沼气工程具有以下几个特点:

第一,紧密结合农场生产实际,工艺设计先进。该沼气工程有2套套筒折流式发酵装置(2个发酵池),1个体积为600立方米,用

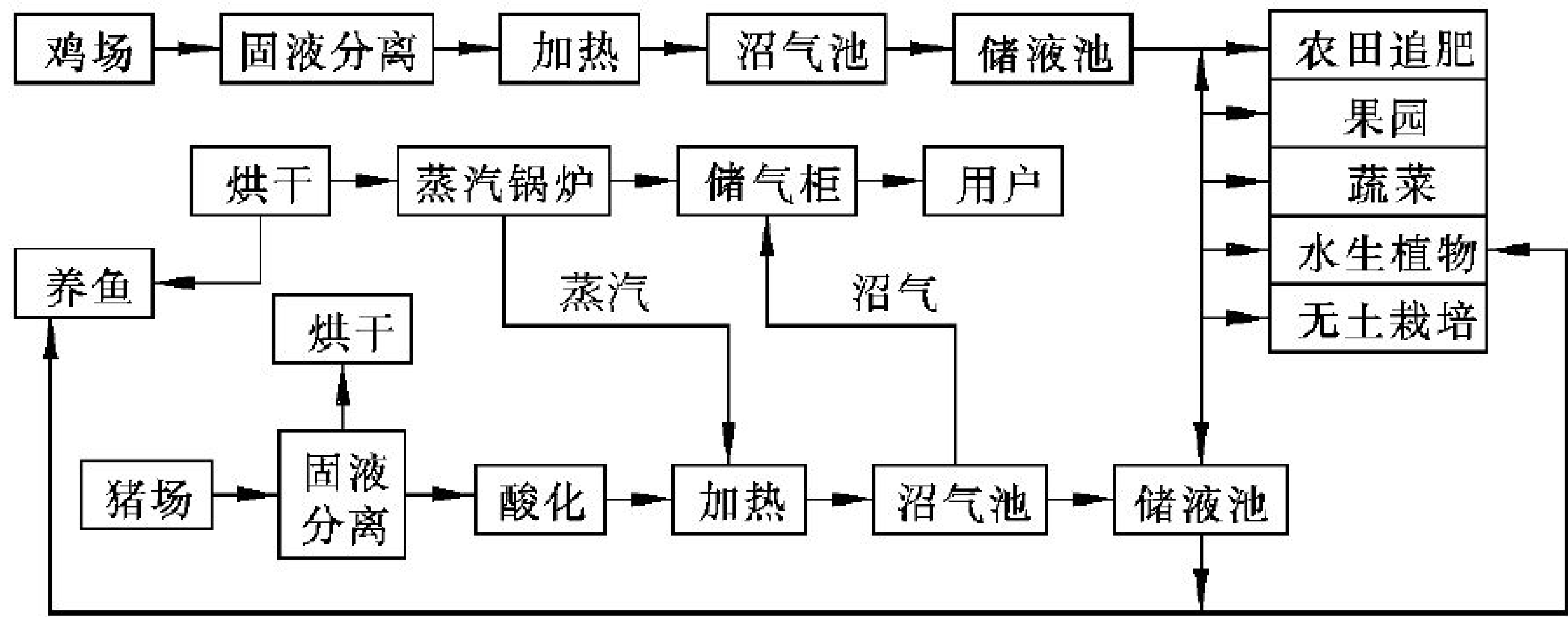


图 7-5　胜利油田生态农场沼气工程工艺流程图

于处理来自工厂化种猪场的猪粪尿;1 个 200 立方米,用于处理来自养鸡场的鸡粪。两套装置既可同时运行,亦可单独运行,这是当前国内外沼气生产中所不多见的。

设计安装了发酵原料的前处理装置,除去猪粪中的猪毛等杂物,保证工艺的正常运转。

由于猪场和鸡场的工艺一定,清粪时间固定,因此本工程设计了 2 个贮液池(池容为 2×200 立方米),不仅保证了在短时间内把粪清完,同时还有效地保证了猪粪两步发酵的要求。

在两条工艺系统中,各增设 1 个加热池,池容分别为 15 立方米和 30 立方米。加热装置为蒸汽喷射加热器,既加热,同时又在加热过程中起搅拌作用,保证料液浓度均匀和反应的顺利进行。

第二,沼气工程和有机复合肥料厂紧密结合。猪粪原料经前处理装置滤出的固形物进入有机复合肥厂生产高效有机肥料,不仅提高了工程的经济效益,同时还有效地解决了不能进入沼气池的固体废物污染。

第三,效益显著。正常运转情况下,该工程年产沼气 25.55 万立方米,沼液 3.285 万立方米,有机复合肥 876 吨,蛋白饲料 493 吨,年直接经济效益达 85.03 万元,年节省排污费 8.21 万元,累计年经济效益为 93.24 万元。初始投资为 152.50 万元,年运行成本 40.85 万

元。投资回收期为2.8年。远低于电力(5～6年)、煤炭(7～9年)等能源建设的投资回收期。

高新技术的引进、研究与推广应用

从一定角度讲，生态农业技术，特别是建设技术是一种组合技术。生态农场(生态农业系统)在建设过程中，一方面要发挥自身的技术优势，充分利用本地区特有的传统技术。另一方面，要根据经济发展的需要和条件的可能，不断引进高新技术，并通过研究、消化、吸收，为我所用。根据这一原则，胜利油田生态农场在建设过程中，紧密结合生产实际，广泛引进并吸收高新技术成果，并在此基础上开展了多学科的研究和技术推广工作，取得了一系列的成果，获得了很好的经济效益、环境效益和社会效益，大大丰富了生态农业研究建设的内容，有力地促进了生态农场的建设。

农场引进的高新技术，主要在两方面。

① 种植业方面

吨粮田开发技术的研究与推广；

引种、试验、推广小麦良种烟1604(鲁麦14)及淄农033的高产技术；

玉米自交系黄太135号及其杂交种胜玉12号的选育、研究；

旱玉米免耕覆盖点播技术的研究；

冬暖式塑料大棚生产黄瓜试验研究；

盐碱地桃树密植栽培早期丰产试验。

② 畜牧养殖业方面

猪高产瘦肉型品系培育及不同水平的能量、蛋白质和微量元素添加剂对肥猪综合生产性能影响的研究；

棉仁蛋白喂养商品猪的试验研究；

筛选高效肉羊杂交组合试验研究；

肉鸡饲料配方筛选试验研究；

肉鸡大肠杆菌及其防治的试验研究。

生态农场建设研究 7 年来，在引进、应用、推广高新科技的同时，先后开展了各类科研试验 50 余项，有力地促进了生态农场的建设与发展。

配合农场的实际生产建设，同时开展了一系列的理论研究，如农场的能量流分析、物质流分析、价值流分析、人工辅助能产投比分析等。这些研究不仅有效地推动了农场的实际建设和经济发展，同时大大提高了农场的研究建设水平。

（4）生态农场建设成效

经过 8 年的努力，胜利油田生态农场已初步建设成一个高产、优质、低耗的农业生产系统和高效、稳定、合理的农业生态系统，取得了显著的经济效益、环境效益和社会效益。

经济效益

① 生产总值大幅度增长。生态农场建设前的 1988 年，全场生产总值为 1029 万元，1993 年增长至 1.54 亿元，1996 年达 2.54 亿元，比 1988 年增长 23 倍。

② 劳动生产率显著提高。农场每个劳动力产值由 1988 年的 0.28 万元，增长到 1994 年的 6.82 万元，1996 年达8.14 万元，比 1988 年增长 29 倍。

③ 人均收入大为提高。1996 年农场员工的年人均收入比 1988 年增长 4.21 倍。

④ 产业结构日益合理。1996 年和 1988 年相比，在全场生产总值中，种植业产值由 26.91%下降至 15.36%，畜牧养殖业产值由 30.56%下降至 24.22%(由 410 万元增长至 6150 万元)，工副业产值由 42.52%上升至 60.42%。

环境效益

① 光能利用率显著提高；种植业的光能利用率由 1988 年的 0.57%提高至 1996 年的 0.63%，主要产品小麦生产光能利用率由 0.46%提高至 0.67%。

② 饲料报酬率大幅度提高;畜牧养殖业的饲料报酬率由1988年15.8%提高到1996年的29.0%,增长近1倍,也远高于全国的平均水平(15%～20%)。

③ 森林覆盖率显著提高。生态农场建设以来,累计植树造林360公顷,使全场森林覆盖率由1988年的6.2%提高到1996年16.6%,大大改善了农场的生态环境。

此外,全场生产的人工辅助能产投比、氮素及磷素产投比均较生态农场建设前有了较大提高。农场的环境卫生状况有了很大的改善。

社会效益

① 农场生产的发展,为油田提供了大量的农副产品,安定了职工生活,稳定了职工队伍,促进了油田生产的发展;

② 生态农场建设,特别是生态环境建设,为矿区(油田)的生态恢复和保护,以及可持续发展开辟了新路;

③ 开创了能源的原基地不搞能源农业,而通过环境工程建设发展农、副业生产的生态农业之路;

④ 为黄河三角洲的开发,特别是黄淮海地区中低产田的改造提供了经验;

⑤ 生态农场建设培养了一批科技骨干队伍,有力地促进了农场科技进步。

丘陵地带生态农业建设的典范
——浙江萧山县山一村

基本情况

萧山县山一村位于钱塘江南岸,与杭州市一江之隔,地处水网平原向丘陵山区过渡地带。全村由8个自然村、22个小村落组成,2927人,土地总面积256公顷,其中耕地113公顷,人均0.038公

顷;山地 89.7 公顷;水域 28.9 公顷;村庄及道路用地 24.7 公顷,农田、丘陵山地与水域面积的比例约为 5∶4∶1。该村地属亚热带季风区,气候温暖湿润,光照充足。常年平均气温 16.1℃,年总积温 5838℃,大于等于 10℃的积温 5066.7℃,无霜期为 248 天,年降水量 1346.5 毫米,多年平均日照总数为 2091.8 小时,年日照率 47%,年太阳辐射能 11.0 千焦/厘米^2。良好的自然条件对发展农业生产十分有利。

该村长期以来由于没有重视生态环境的保护和合理利用自然资源,生态环境存在不少问题。例如:山林植被破坏严重,森林植被覆盖率仅为 17.8%,水土流失严重;农民生活燃料短缺,每年缺柴 3～4 个月;大量施用化肥、农药,化肥年均用量为 1.88 吨/公顷;土壤有机质下降,土壤板结等。经济上,由于生产结构不合理,商品性生产能力低,工副业少、经济效益差,1983 年全村人均收入仅 333 元。

有效的措施和显著的效益

在对全村进行社会经济、自然资源、环境要素现状等调查的基础上,经全面认真的分析,按资源的优势特点、经济实力等实际情况,大力开展生态农业建设。根据发展生产和提高生活的需要与可能、长远利益与近期利益兼顾等,制定了一个较好的发展规划。

几年来主要做了以下几点工作:

① 发挥山地资源优势,建立林、竹、果、茶相结合的山林生态系统

山一村山地资源丰富,但长期以来未能合理开发利用。生态农业建设开展后,根据不同的土壤、光照等因素,将89.7 公顷丘陵山地区划为薪炭林地、用材林地、经济林地三大类。为了改变渐趋恶化的生态状况,从 1984 年开始采取了全面封山育林措施,同时在山地发展了效益较好的茶叶、杨梅、橘子、竹子等经济林,重点发展了传统特产“浙江龙井茶叶”、“冠山杨梅”。山地每公顷产值从1983年的966元提高到1987年的4570元;林场工人的年人均工资从1983年的270元提

高到1987年的1200元,提高了3.4倍。

山林生态的建设,使原来光秃秃的山岭开始郁郁葱葱,森林植被覆盖率已由1983年的17.8%上升到30%,保护了山地水土、涵养了水源。

② 开发建设农村新能源,建立农业废弃物多层次利用的生态试验场

据1983年统计,全村每年需158万千克生活燃料,而全村近53.3公顷的薪炭林每年只能提供约20万千克燃料。当时村民们为了每日三餐的生活燃料,擅自上山乱砍滥伐,造成山岭光秃秃,河边路边不见树,农作物和秸秆也因用作燃料而不能还田,造成土壤有机质逐年下降。

根据"因地制宜、综合利用、多能互补、讲究实效"的原则,1984年开始开展生物能的合理使用,把沼气、节柴灶、薪炭林有机结合,解决农民的生活能源。现已在沿山的柴家坞自然村普遍建了沼气池,每年可替代薪柴1.8万千克,沼气除基本解决农户一日三餐的生活燃料外,还可补充解决晚上停电时的照明;同时推广使用节柴灶,已建的192个节柴灶,每年可节省薪柴8万千克以上。

为合理多层次的利用农业废弃物,还在登浪山建成了生态实验场。实验场由鸡—猪—沼气—鱼(及菜园、果园)等四级组成。

水草与经过发酵处理的鸡粪喂猪(每头猪可节约饲料120千克),猪粪作沼气原料,沼气解决饲料加热、照明及部分生活能耗,沼液与沼渣用作果、茶园肥料或养鱼。该实验场目前已成为该地区生态农业建设的典范。

③ 合理施用化肥、农药,保护农田生态环境

从1984年开始进行农田作物病虫害综合防治的试验。经过2年多的努力,获得了良好的效果,试验田与对照田相比,每亩可少施农药55%。

④ 发展庭园经济

山一村耕地少,但农户房前屋后发展庭园经济具有较大的潜力。

并根据农户房前屋后空地的不同情况，分类指导。不少农户把果、木、药、菜、花卉等多种用途且经济效益较高的木本、草本植物组合成立体庭园，充分利用地面、空间、土壤进行多层次经营，不仅大大提高了经济效益，还充分发挥了庭园生物群落生态系统效益，改善了生态环境，美化了居地。

⑤ 调整产业结构，向“种、养、加”模式发展

该村原以种植业为主。农田复种指数1984年达225%，在总播种面积中粮食占95%以上，粮食中又以水稻占绝对优势。1982—1984年的3年各业平均收入中，种植业、林果业、禽畜饲养业、渔业、工副业分别占总收入的47.8%、8.04%、6.61%、1.95%和35.51%。通过5年多的生产结构调整建设，在保证农田以种粮为主的同时，发展了无污染、少污染的工业。调整后，增加了工副业的比重，全村各业的总产值从1982—1984年的年平均108.03万元增加到1988年的803万元，提高了6.4倍；全村人均收入从1983年的333元，提高到1988年的1078元，增长了2.2倍。

由于经济收入的提高，农民居住条件开始了较大的改善。自1984年以来已新建住房8.243万平方米，人均新建住房11平方米。为了保护农地，92%的新建住房均建在山坡地和非耕地上。在改善居住条件的同时，开始注意改善村民的饮水条件。自1984年以来已挖水井40口，并已钻挖深井一口作为自来水的水源，建了自来水厂，彻底改变村民们长期饮用河水的状况，保证了农民健康。

生态学原理的巧妙应用——辽宁大洼县西安生态养殖场

辽宁省大洼县西安生态养殖试验场，位于大辽河右岸，辽河三角洲内大洼县城东南20千米处，为滨海冲积盐碱地平原产稻区。年平均气温8.4℃，最高月平均气温25.3℃，有效积温为3475℃，无霜

期188天,水资源丰富,自然条件优越。1984年8月由省环保局确定该场为省级生态农业示范基地,在原种猪场的基础上,运用生态学原理,进行了集农、林、牧、副、渔、果于一体的生态养殖试验。1986年初,该场正式命名为西安生态养殖试验场,并明确提出,该养殖场的任务是:遵循生态规律,结合传统农业的特点,充分利用太阳能,加快物质、能量转化,保护农业生态环境,促进农村经济持续稳定增长,为生态养殖业做出示范,为全面推广生态农业提供经验。

几年来,在科技人员的指导和帮助下,通过全场同志的努力,基本上实现了生态农业试点规划的要求,达到了经济、社会、环境效益的统一。

基本概况

西安生态养殖实验场原有职工127人,以养猪为主,有猪舍17栋。饲养母猪200头,每年产仔3000～3500头,育肥猪1000～1500头。有饲料田26.7公顷种植水稻,还养殖了3.33公顷水面的水生饲料水葫芦和细绿萍。猪场四周防疫沟养鱼和河蚌(河蚌育珍珠)。全场占地46.7公顷。1980年以前由于经营管理不善,加上饲料粗、精结构不合理,猪场受自身排放的粪尿污染影响,使猪的产仔率低,病、瞎猪比例大,致使连年亏损,累计亏损达33万元。

通过调查分析发现,该养殖场林、牧、渔生态结构不甚合理,存在不少问题,主要是:

① 猪场排出300万千克的猪粪尿,随同冲洗猪舍的废水一同排出,没有得到合理的利用而肆意流淌,严重地污染了环境;

② 初级生产规模不够,土地资源利用率不高;

③ 物质,能量没有进行多层、分级利用。

根据该场存在的问题,决定以提高环境效益、经济效益以及物质的转化效率和人工辅加能的投放效果等为目标,把净化有机废水和生产水生饲料、沼气能源的开发和初级生产等有机地结合在一起,对该场的农、林、牧、渔生态结构进行了系统的设计和规划。

试验的重点是建立一个以畜牧业、水产养殖业为基础，以猪粪尿、水资源为条件，以太阳能为动力，以水生饲料生产增加食物链环节为核心，综合发展种植业、养殖业的生产体系。做到物质能量进行分级吸收和多层次转化重复利用，使物质在转化中再生、增值，实现多功能，系统无废弃物，保护环境，造福人民，具体要求是：

① 不断提高能量和物质的产投比。为达此目的，必须不断提高太阳能转化为生物能的效率和氮气资源转化为蛋白质效率。大力发展水稻生产和水生饲料的放养。不断减少人工辅加能的投入，使产出逐年提高。

② 增加食物链。促进物质在系统内部的循环利用和多次重复利用，变原来的只养猪和河蚌育珍珠的单一经营为多种经营，增加鸡、鱼、蟹、貂、林、果等的饲养和生产，以增加食物链。

③ 开发新能源，建沼气池和太阳能房。

④ 猪尿和冲洗畜、禽舍的污水等，用生物工程进行三段净化四步利用，实现无污染的工艺流程。

⑤ 进行立体生态结构的研究。

系统结构的设计和确定

西安生态养殖场的系统结构共由 4 部分组成，即初级生产者系统、次级生产者系统、水生生态系统和有机污水净化系统。简要介绍如下：

① 初级生产者系统

初级生产的主体部分是水稻和水生饲料。通过调整，目前全场水稻面积为 28 公顷，水生饲料养殖面积 3.67 公顷。此外还有大豆 1.13 公顷，蔬菜 0.67 公顷，葡萄园 1 公顷。

② 次级生产者系统

主要由猪场和鸡、貂等畜禽饲养为主，其中猪是核心生物因子。正常情况下，母猪饲养 250 头，公猪饲养 15～20 头，每年产仔 3000～3500 头，出售仔猪 2000 头，自育肥猪 1500～2000 头。

③ 水生生态系统

主要为鱼塘,此外还有稻—鱼、葫—鱼—萍—鱼的共生生态系统。该场鱼塘分两部分。其一是防疫沟,面积2.67公顷,水深1.0米,实行两层利用,上层养鱼,下层放河蚌。其二是1985年新挖的两个面积共为1公顷,水深2.5米的鱼塘,实行三层利用。按生活习性搭配不同鱼种,使上、中、下水层都得到充分利用。另外,还有1公顷蟹塘。

④ 有机污水的净化、利用系统

这是西安生态养殖场最大的特点之一,是生态学原理的巧妙应用。猪圈的污水,通过猪舍两侧的排水沟顺次排到水葫芦池、细绿萍池、鱼蚌混养塘、水稻田,逐步完成下述三段净化、四步利用。

- 三段净化

在5～10月的清水冲圈期,每天要排猪尿5000千克和大量冲圈脏水。污水的浓度(用化学需氧量COD表示)为500毫克/升。氮、磷的含量也较高。污水首先进入水葫芦池,开始第一段净化,水葫芦池的净化效果见表7-4。由表7-4可见,各污染物含量在前7天急剧下降,7天后缓慢。这种现象恰好与水葫芦表现的缺肥状(植株变黄)的时间相吻合。因此,确定水葫芦净化污水的时间为7天。

表7-4 有机污水在水葫芦池的净化效果/(毫克/升)

污染物 \ 净化天数/d	1	2	3	5	7	9	11
有机质	500	301.5	240.7	150.3	89.1	80	68.5
速效态氮	12.6	—	8.2	6.8	6.0	5.6	—
速效磷	3.86	—	2.87	2.49	1.88	1.68	—

注:第1天为新放入水。

7天后,将污水从水葫芦池引至细绿萍池,进行第二段净化,其

净化趋势与第一段相似，参见表 7-5。因此，其净化时间也定为 7 天。

表 7-5　有机污水在细绿萍池的净化效果/(毫克/升)

净化天数/d 污染物	1	2	3	5	7	9	11
有机质	89.1	79.1	75.5	63.3	58.6	57.0	55.2
速效态氮	6.0	—	4.6	4.0	3.9	3.5	—
速效磷	1.88	—	1.34	1.15	0.98	0.9	—

注：第 1 天为新放入水。

经过上两段净化后，污水的化学需氧量(COD)由 570 毫克/升降至 138.7 毫克/升，再降至 70 毫克/升。生化需氧量(BOD)由 356 毫克/升降至 168.8 毫克/升，再降至 33.6 毫克/升。溶解氧(DO)由 0 增加到 1.49 毫克/升，再增加到 2.45 毫克/升。同时繁殖出大量的浮游生物，是鱼的天然饵料。第二段净化后的污水又继续引至鱼蚌混养塘进行第三段净化，时间视池塘水量和水浊度而定。当肉眼观察浮游生物减少，池塘水过多时可以排出。此时，污水已经变成了清水。

● 四步利用

有机废水经过三段净化的同时完成了三步利用(即水葫芦、细绿萍及鱼蚌养殖)。从鱼塘排放的清水引至水稻田作为灌溉用水，实现了第四步利用。

每年排放到水葫芦池的 90 万千克猪尿和冲洗猪圈脏水中，大约含氮 6150 千克，磷 3480 千克，钾 1.119 万千克。按氮素计算，可生产水生饲料(水葫芦、细绿萍)307 万千克，节约精饲料 47 万千克。

第三步为鱼蚌对肥水中浮游生物的利用，效果明显。2.67 公顷防疫沟水面在不加任何其他人工饵料的情况下，达到了亩产鲜鱼 200 千克的水平。

第四步作为灌溉用水。从鱼塘排出的水中速效态氮的含量为

3.0毫克/升。速效磷、速效钾的含量分别为1.68毫克/升和6.0毫克/升,用其灌溉水稻,增产达11.68%。

此外,为了消除猪粪等污染物对环境的污染,还开展了沼气的开发利用。目前该场有20立方米沼气池一座,达到了全年产气。

系统的总体结构参见图7-6。

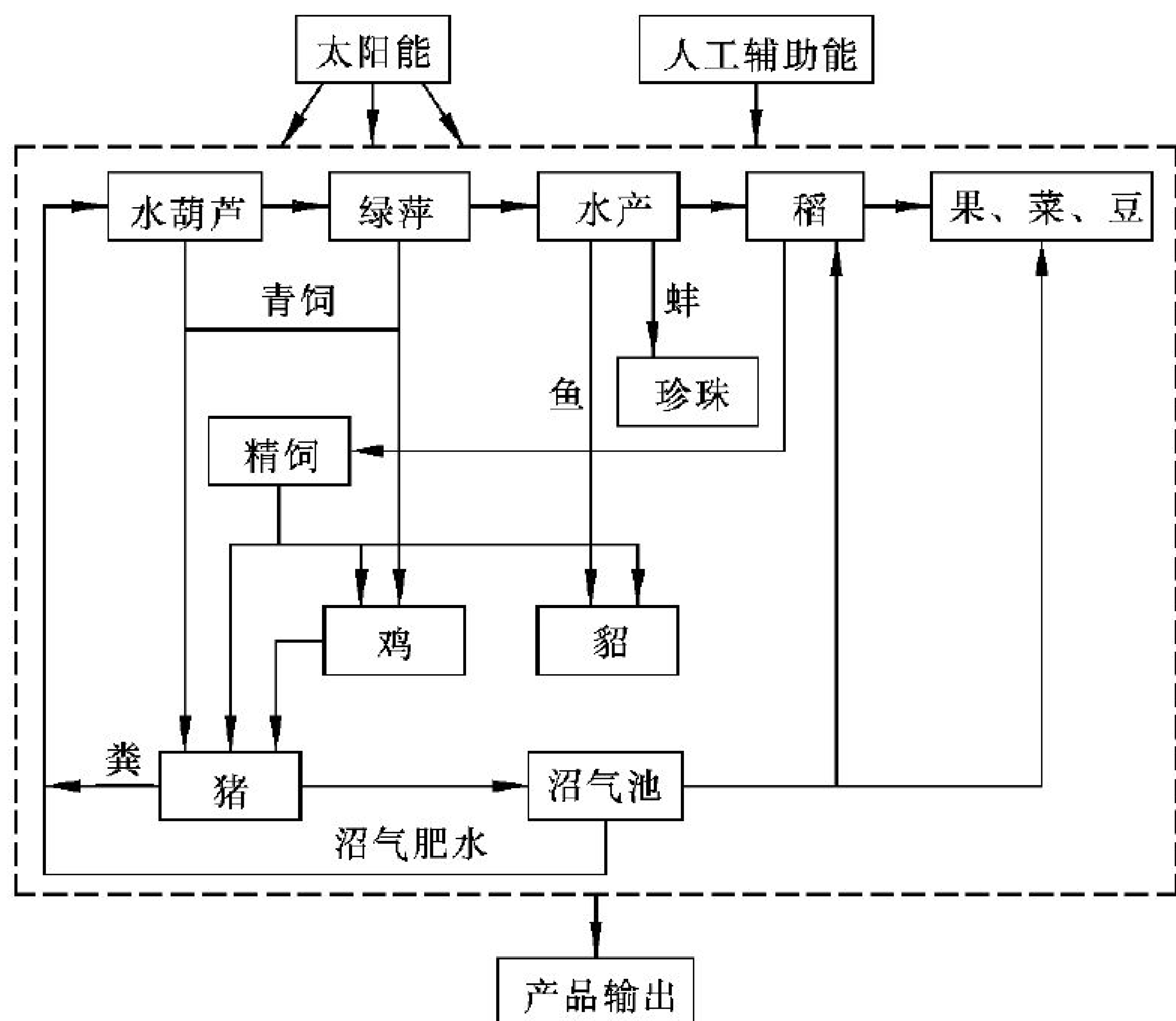


图7-6　西安生态养殖实验场系统结构示意图

显著的效益

经济效益

全场的总产值、人均产值、人均收入,都比建场前有大幅度提高。1988年总产值达130万元,是1984年76万元的1.7倍;1988年人均创产值1万元,人均收入2600元,比1984年提高了1.17倍。

在总产值中,养猪业产值提高最大,由1984年的60.8万元提高到1988年的104万元;渔业产值达到5万元;貂貉产值从无到有,达13万元。1988年全场盈利25万元。

生态环境效益

① 物质、能量的转化效率大大提高；

初级生产的产量，水稻由1984年7.35吨/公顷提高到1988年的8.49吨/公顷，水生饲料产量达750吨/公顷，水稻生产的光能利用率达0.90%（有效利用率0.46%），水葫芦达3.10%，细绿萍达4.43%，均超过了一般农田水平。

次级生产猪的饲养，1984年每生产1千克猪肉需精饲料45千克，现在仅需要3.7千克。

② 环境景观大为改善。

场内绿树成荫，花草遍地，空气清新，成了花园式的养殖场。一行行翠柳，一丛丛鲜花，簇拥着一栋栋红砖灰瓦猪舍，一方方规整的池塘里蟹胖鱼肥，一池池水葫芦、细绿萍似绿色的绣锦，高高的葡萄长廊吊着一串串玛瑙般的葡萄，将整个养殖场编织得井井有条。过去那"大蛆到处游，苍蝇嗡嗡叫，猪粪到处有，臭气逼人走"的景象一去不复返了。

社会效益

通过几年的生态农业试点建设，西安生态养殖实验场在水稻、水生饲料、生猪、貂貉、果、鱼、珍珠、蟹的生产量和商品量均有大幅度增长。几年来，该场为省内各市县及吉林、黑龙江两省提供种葫、种萍10万余千克，为全县各场、镇提供15万千克。猪的饲养量由1984年的4500头增长到1988年5800头，为市场提供瘦肉型商品肉215吨，产葡萄6000千克，产鱼1万千克，产珍珠50千克，出售优质貂皮1500张，对国家的贡献越来越大。

市场经济形势下实施产业化发展，企业化经营的生态农业新模式

作为以生态学和生态经济学原理为指导，以系统工程方法为依

据,以市场经营为导向的生态农业,较之传统的农业更有利于促进经济效益、社会效益和环境效益的统一和农村经济社会的可持续发展,这方面成功的例子也很多。

广西恭城瑶族自治县地处桂东北,毗邻湖南,是个不沿海、不沿边、不沿路(铁路、公路国道)仅有27.5万人口的小县,是广西49个老少边山穷县之一,自20世纪80—90年代构建生态农业后,1990年恭城县被农业部定为全国农村能源综合效益示范县,被国家环保总局定为生态农业示范县,并连续5年被评为自治区及桂林地区农村能源建设先进县。该县不仅摆脱了贫困状况,粮食生产连续8年获得增产丰收。养猪出栏增幅,肉类产量增加和肉猪出栏率获广西三个第一名。并在主导产品——水果产量方面,人均水果收入500元,水果单产、人均产果、人均水果产值均居广西第一。广西养殖—沼气—种植三位一体生态农业体系的"恭城模式",是以养殖为源头,以种植为归宿,沼气为纽带的三者循环过程中,资源得到合理配置和生产要素获得优化组合,并靠规模经济和拳头产品争得市场(养殖和水果),这样,生产者降低了消耗,提高了劳动生产率,获得了超额价值,增加了利润收入。

广西北流市在推广恭城模式的基础上,以沼气为纽带,将农业产业化、市场化和农村城镇化纳入其中,把沼气建设同农业产业结构调整结合,同"五改十化"相结合,即改水、改厕、改厨、改房、改路;住宅楼房化、庭院绿美化、用水自来化、户间路硬化、厕所厨房卫生化、家具现代化、燃料沼气化、电话程控化、电视闭路化、言行文明化。构建成农业和农村生态家园型的现代化文明新城镇。经济效益、生态效益和社会效益都取得显著成绩。

北流市突破"就沼气抓沼气"的思维方式,跳出"就生态农业,论生态农业"的框框,把生态家园建设置于实现农业和农村现代化的大背景之下,引进现代农业、现代农村发展的有关要素,使养殖业向规模化、集约化发展,农业产业化、市场化经营,农村城镇化、文明化的

构建都大大地推进了一步，从而使当地由小康向着中康水平迈进。

从上述三位一体的恭城模式到北流的生态家园型模式的创建成功，说明广西现代生态农业新模式的推广是可行的，是有现实意义的。同时也说明当今生态农业模式进一步向国家提倡和试点的生态示范区模式的延伸已成为一种新世纪的发展趋势，可以说全国生态示范区各类模式的推进，是和现代生态农业模式的基础和发展分不开的。

例如吉林省和龙市在生态农业试点延伸为生态示范区的建设中，以无公害蔬菜为重点，全方位立体开发，山下发展无公害蔬菜及猪、鸽、土鸡、鸭、鹅等多种养殖业，山上种植葡萄、五味子、无刺沙棘、放养林蛙等，库区养鱼，并在保护环境前提下开发旅游业，使生产基地形成完整的生态体系，生态资源得到合理的开发利用，产品走向市场。

浙江省临安市在生态农业发展基础上的生态示范区主攻加工业，前促生产，后促流通，对竹笋、菌蘑等主导产品进行深层次加工，获得了高质量系列产品，先后形成十大农商品基地的 8 条加工工业体系，1500 多家企业的参与，年产值 25 亿元，相应地形成农产品集散市场 20 多个，年成交额 3 亿多元，生态农业产业化使其成为“江南最大菜竹园”和“中国山核桃之乡”。又例如湖南省望城县黄金乡无公害现代化生态农业示范点的无公害保胚灭菌的绿色优质大米规划 50 万亩已取得国家“黄贡牌”商标，通过基地＋农户＋公司的运作方式使产品已远销东南亚。

此外，安全、健康、优质的绿色有机生态农业基地的建立的例子有江苏瑞康有机食品公司、南京市溧水县思源有机食品公司建立的大米、茶叶、蔬菜有机农业基地；江苏省姜堰绿色食品科技示范园区生态农业基地等。福建省超大现代农业集团的水果、蔬菜、芦荟等 10 多个品种，面积已达 700 多亩，认证绿色食品品种 10 多个，该生态农业基地是全国惟一上市的农业科技公司。

深圳已建立 5000 多亩无公害蔬菜科技市场，计划 5 年内将再建 2.5 万亩无公害蔬菜，实施从生产基地—批发市场—超市监测网络

的安全食用放心菜管理体系;黑龙江省投资5500万元将建一批绿色食品加工龙头企业,现全省年产值5000万元以上的绿色食品生产加工企业已达60多家。

生态农业建设已进入了一个新的发展阶段,它从单元规模上实现由户、村、场、乡向县级区域的生态示范区发展;在覆盖范围上实现由点向面,向着区域生态方向发展;在表现形式上实现由科研示范园区或生产基地向着商品化、产业化、市场化转变;在研究上大力提倡绿色消费、绿色营销理念,以及绿色产品策略和绿色价格策略;在组织形式上由政府推动逐步转向政府和企业或企业联合推动。

上述列举的范例的共同特点是依据整体、协调、循环、再生的生态原理,运用系统工程方法,因地制宜地把传统农业精华与现代农业科技相结合,进行全面规划,统筹兼顾,合理组织,科学管理农业生产,建立空间上多层次、时间上多序列、类型上多样化的农业生产和经营,使农业生态系统结构合理、功能健全、资源再生、系统稳定、管理高效、发展持续的目的,综合归纳上述发展趋势,可以说生态农业的生产链延长了,生态系统更趋于稳定和良性循环,即可以用下列公式加以表示:

农户+基地+企业+商品+产业+市场

从而使生态农业有可能在保护农村环境,促进农业自然资源的合理利用,解决三农(农村、农业、农民)问题以及农村经济全面发展上发挥不可替代的作用。

总之,面向新世纪,人类的取向和选择必然是城市生态化和农村的生态化,生态化和绿色标志是21世纪的主旋律,其追求的是以绿色为主题,以人与自然和谐为宗旨的自然环境和人居环境,而人居环境不仅要优美、清洁、健康、舒适,而且要求食品安全、高质、富有营养,生态农业(有机农业、有机食品)不仅能承担上述任务,同时它在改善自然环境和推动生态建设与生态保护方面具有不可估量的作用。

8 21世纪生态农业的展望

我国自20世纪80年代初由环保、农业等部门组织开展生态农业试点及建设至今，已取得了举世瞩目的成就。在单元规模上，已由户、村、乡向着县级或区域发展方向转变；在覆盖范围上，由点向面的发展方向转变；在目标方面，从注重增加农产品数量向提高农业效益、改善农业环境为主的方向转变；从以农业生产为主向农业、农村经济及农村生态环境全面发展方向转变；在技术方向上，从以资源开发为主向资源开发与市场开拓相结合的方向转变；在思想认识上，开始实现由科研示范向着专业化、企业化、商品化发展方向转变；在组织实施上，由部门和群众自发性向各级政府部门组织推动方面转变。可以说，我国生态农业建设已经迈上了一个新的台阶。但是，生态农业在我国的发展毕竟只有近20年的历史，生态农业示范面积只占全国耕地面积的7%左右；有些部门、有些领导对发展生态农业是一条可持续发展的道路还认识不足；

对生态农业是实现经济、社会和生态三大效益统一的最佳模式的总结和宣传尚重视不够;在发展生态农业方面还缺乏必要的法规和条例、优惠政策和保障体系,也缺乏对相应配套技术的研究和开发。因此,必须排除种种障碍,不断克服前进中存在的问题。同时,应重视总体规划、统筹安排,进一步开展理论研究和高新技术应用,改善农村环境,走企业化道路。这样,才能使生态农业健康、稳步和持续地发展,使之规模更大、效益更高、影响更加深远。

(1) 生态农业建设需要总体规划和统筹安排

生态农业建设是一项系统工程,要进一步在党和政府统一领导下,组织各部门、多学科,运用现代农业技术、生态学、系统工程等知识和先进技术手段,遵循自然规律和经济规律,因地制宜地结合“九五”计划与2010年远景目标,制定出总体规划。计划到2000年,全国要建成100个生态农业县,20个左右生态农业地区,10个左右生态经济县,全国有1/4县开展生态农业县的建设,为在21世纪生态农业建设打下良好的基础。

(2) 生态农业理论和实践需要进一步深化和发展

多年来生态农业研究主要是从实践中总结群众经验,自发形成该地区行之有效的模式。随着试点规模的扩大,对各类试点的建设需要理论的指导,才能得以进一步的发展。而实际上,理论远远落后于需求,而已有的类型和模式也需要在理论上加以概括和升华,其研究内容包括定义的科学表述、指标和评价方法的完善、规划设计的定型化,各种模型的优选,以及生态农业基本理论体系的建立等。

(3) 现代高新技术应在生态农业中得到进一步应用

首先应突出农业科技要面向农业、面向农村、面向农民,为农业和农村经济发展服务的宗旨,同时要明确生态农业是建立在高产优质、高效低耗和无污染基础上的持续农业和农业模式,而要实现这个宗旨和目标,就必须更多地利用现代高新技术和农业关键技术,否则不能持续发展。例如:种植、养殖业中良种培育技术、无土栽培技

术、合理施肥和有机肥处理技术、生物农药开发技术、节水工程技术、提高光能利用率技术、渔业养殖技术;农业生物技术中生物遗传工程、酶工程、生物降解、微生物利用、动物基因疫菌等;再生能源工程、废弃物资源化工程、害虫综合防治、生物活性肥料等环保生态工程技术。这些高新技术的应用,将更大地促进生态农业的发展。

(4) 生态农业的发展将推动农村环境综合整治的进程

我国农村经济由单一传统的农业向工业化过渡期间,乡镇工业的崛起对推动农村的经济建设和经济发展起了重要作用。但是,它的产生在加剧了农村工业化的进程的同时,也带来了不可忽视的农村环境污染问题。生态农业从注重农业现代化转向农业、农村现代化为主体的农业可持续发展,把优质、低耗的持续农业发展服务作为农业科技的发展方向,促进农业走技术集约型道路,要把质量问题、效益问题、农民增收和环境保护统筹考虑和互相结合。生态农业同时强调恢复绿色植被、改善土壤肥力、物质循环再利用,废物再生资源化、自然资源的合理利用。这在很大程度上控制了农业自身的污染及乡镇工业带来的环境污染,起着保护和维持农村环境质量的重要作用。而乡镇工业发展既积累了一定资金,又促进了生态农业技术的发展,二者相互依赖、相互促进,使整个农村环境综合整治有了坚实的基础。生态农业建设在取得经济、生态、社会三效益的同时,必将加速整个农村和小城镇生态建设的步伐。

(5) 迎接 21 世纪生态农业的革新

前面所述生态农业是一种高产优质高效低耗的无污染农业模式。它把其产品变成商品,把生态农业的无污染绿色产品的优势转变为产业优势和经济优势。这就必须按不同的农业产品实行贸工农一体化产学研相结合,生产加工销售一条龙经营,推向农业产业化、市场化。产业化是解决农业生产规模狭小与提高农业劳动生产率矛盾的必然选择,也是市场经济发展要求跟农民对市场调节不适应矛盾的必然选择。产业化是现代化农业规模经营的一种重要形式。农

业规模经营需要跟技术集约型相结合,规模扩大,投入也要相应增加,而大量的资金集约不易做到,但可以依靠科技投入来弥补资金的不足。因此,依靠科技进行规模型集约经营是根本的方向和出路。同时,与此相适应的还要建立多元化的生态农业和科技投入体系、科技创新体系,以及符合市场经济需求的新的运行机制,包括科技推广和科技服务体系,这样,生态农业的进一步推广才有可能得到保障。

在高科技的指导下,21世纪有机农业、精确农业、海水农业、观光农业等将大放异彩,而具有中国特色的生态农业将被实践中再一次确认,并将进入一个新的发展阶段。21世纪将是生态世纪、生态文明的新纪元。我们要更加努力地去建设和推进以良好生态环境、生态文明和生态农业为特征的现代化农业。

生态农业——21世纪的阳光产业。

9 新时期、新形势下生态农业可持续发展

本书修订前，笔者曾在若干年中，在不同地区做了调研和考察。期间，结合现代农业，以及国家“十二五”发展规划中有关农业的要求，提出了笔者自己对农业现代化模式的新思考，例如“循环农业”、“低碳农业”，以及用生态工业先进理念（清洁生产、循环经济等）引领和进一步推动生态农业现代化进程，使农业发展模式趋向循环型、低碳型和高效型，并以此作为本书修订内容增补如下。

9.1 发展生态农业保护农村生态环境

新时期、新形势下农村生态保护取得的显著成绩

党的十七届四中全会上，胡锦涛总书记进一步将“生态文明建设”提高到与社会主义政治建设、经济建设、社会建设、文化建设并列的位置上，要求纳

入国家战略,统筹加以推进。落实科学发展观、推动生态文明建设,对全国环境保护工作提出新的要求:环保工作必须立足我国快速工业化和城镇化的现实,深刻把握环保工作的规律,着眼于关系民生的突出问题和新的生态问题,统筹城乡,协调推进。新形势下加强农村环保就是直接推进生态文明建设。

《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出了建设社会主义新农村的宏伟目标,对全国农村环境保护工作提出了要求:切实加强农村环保工作,建设以"清洁水源、清洁家园、清洁田园"为主要标志的新环境。农村生态保护已成为社会主义新农村建设的一项重要内容,是新时期环保工作的重大任务。

党中央、国务院高度重视农村生态环境保护工作。近年来,全面启动了全国土壤污染状况调查和农业污染源普查,稳步推进农村环境综合整治工作,加强农村环境监管,积极开展生态县(市)、环境优美乡镇、生态村等创建活动,农村生态保护工作取得了显著成绩。

广西壮族自治区发展"三大农业",以生态农业为着力点,开展农村生态环境保护工作,取得了显著效果。"三大农业"是指以生态农业为基础,以信息农业为手段,以品牌农业为重点,把农业与科技、环保、信息、市场、安全、质量、效益等各个领域紧密连接在一起的现代化农业。全省每年新建生态富民"十百千万"工程示范村 60 个以上,推广应用生态农业模式面积每年新增 200 万亩以上,生态理念普及率 90%以上,每年推广清洁种植 1650 万亩以上,构建农作物防治有害生物监测预警和综合防控体系,综合利用稻草、桑枝、木薯茎秆、甘蔗叶、香蕉茎叶、畜禽粪便等,加快建设水果、蔬菜、茶叶等园艺作物首批42 个国家级标准园,无公害农产品产地认定种植业面积达 2400 万亩,有机产品认证达 220 个,打造"三高"(高产、高技术、高附加值)桑蚕基地和食用菌、木薯、香蕉、柑橘、葡萄、蔬菜、马铃薯、茶叶等特色产业示范基地。

浙江省宁波市以新农村建设、生态市建设为突破口,改善农村基

础设施和环境,开展“百村示范千村整治”工程,促进了农村环境质量改善。安吉县以建设环境优美、生活甜美、社会和美的“中国美丽乡村”为载体,全力推进生态文明试点县建设。

此外,其他各省在农村生态保护方面也做了很多出色工作,取得一定进展:江苏省宜兴市坚持“环境立市、生态兴市”理念,把抓环保、抓生态作为最大、最重要的民生工程,通过创建生态市,强化节能减排,大力推进农村环境综合治理工作;四川省洪雅县把生态经济建设放在中心地位,突出生态工业,发展生态旅游,壮大生态农业,通过做大做强生态经济,推动生态县建设;广东省中山市统筹城乡发展,环境保护和生态市建设重点由城市转向农村,建成了较为完善的农村生活污水处理、垃圾无害化处理系统;山东省威海市以深入生态建设示范为切入点,把农村环境保护作为“三农”工作的重要内容,强化农村环境综合整治,扎实推进农村环保工作;辽宁省沈阳市借助社会力量,建立社会多元化投入机制,破解资金瓶颈,积极探索形式多样的城乡环境共建模式;湖南省长沙县以生态建设规划为龙头,发挥环保科技的支撑作用。组建了农村环境建设投资公司,创建了农村环保合作社;宁夏回族自治区大力实施农村环境综合整治,建立健全农村环保工作网络体系,建立农村环保专项资金,取得了良好的成效;安徽省霍山县积极探索贫困地区生态建设模式。石台县以整合资源入手,贯彻“以奖促治”,全力打造“绿色石台”。

农业快速发展对农村生态保护的压力日益突出

“农民、农村与农业”问题是我国建设和谐社会中最突出的薄弱环节。为解决“三农”问题,中央和各级地方政府采取了多种措施鼓励农民发展集约化、商品化的种、养、果大农业生产,努力提高农业的效益,增加农民的收入,建设社会主义新农村。然而,近年来的实践

表明,集约化、商品化农业在增加农民创收、提高农业效益的同时,对我国农村生态环境的影响却日益严峻,国务院新闻办公室2010年2月10日举行第一次全国污染源普查成果新闻发布会,公布我国农业源污染物排放对水环境的影响较大,其中化学需氧量排放量为1324.09万吨,占化学需氧量排放总量的43.7%,化学需氧量排放大体上是工业占1/3,农业占1/3,生活占1/3,准确地说就是农业占1/3强一点。同时农业源也是总氮、总磷排放的主要来源,其排放量分别占总量的57.2%和67.4%。农业源污染中,比较突出的是畜禽养殖业污染,畜禽养殖业的化学需氧量、总氮和总磷分别占农业源的96%、38%和56%。

大面积的农业面源污染加剧了我国本已严峻的环境污染态势,尤其是养殖业污染使水环境污染呈流域蔓延态势。许多农村地区饮水安全得不到保障,农村生活污水、垃圾污染,畜禽养殖污染以及不合理使用化肥、农药引发的农业面源污染均呈加剧趋势,并导致土壤及食品安全受到严重威胁,已经对农民群众的生活和身体健康以及农村经济社会的健康发展产生了严重影响。2007年太湖无锡流域突然暴发了大面积的蓝藻,引发公共饮用水危机的事件就是给我们敲响的警钟。

农业环境污染日益严重,不仅造成水体污染、大气污染、耕地污染,还出现了酸雨污染、气候异常等问题,甚至导致区域农业生态环境严重退化,部分地区出现森林质量下降,湿地生态退化,草原生态恶化,水土流失和荒漠化现象。对草原"重利用、轻保护,重索取、轻投入",过分强调草原的经济功能,进行掠夺式开发,乱开滥垦、过度开采和长期超载放牧,使草原生态环境面临巨大威胁。森林采伐量和消耗量远远超过森林生长量。南方某些林区的开采也已到了极限,毁林速度惊人,林地流失比较严重。由于盲目的围垦、泥沙淤积、污染、过度开发利用等,直接造成了我国天然湿地面积消减。我国沿海地区湿地总面积的50%已经消失。

农村生态环境问题成为全面贯彻党的十七大精神，深入贯彻落实科学发展观，全面建设资源节约型、环境友好型社会和实现全面建设小康社会和社会主义新农村建设目标的重要制约因素。

发展生态农业是农村生态环境保护的有效途径

农业生态系统是人们赖以生存与发展的物质基础，农业生态环境安全一旦受到严重破坏，国家的基本生存基础就受到直接威胁，为此我们必须突破传统安全观的视野，从农业生态环境安全和粮食安全、经济安全以及公共安全相互关联的角度增进对农业生态环境安全的认识。我国农业生态环境本来就十分脆弱，生态环境承载力不高，随着我国农业和农村经济的快速发展和人口的急剧增加，农业生态环境不断恶化，资源短缺矛盾日益突出，部分地区农业环境污染相当严重，成为农业和农村经济可持续发展的屏障。

要把生态农业建设与农业结构调整结合起来，并与改善生产条件和生态环境结合起来，与发展无公害农业结合起来，把我国生态农业建设提高到一个新水平。实践证明，生态农业是解决我国人口、资源、环境之间矛盾的有效途径，实现经济效益、生态效益和社会效益的统一，是农业和农村经济可持续发展的必然选择。

生态农业建设是优化农业及农村经济结构并增加农民收入的重要手段。生态农业可以适应市场多层次、多样化的需求，发展无公害农产品、绿色食品和有机食品，合理组织农业生产和农村经济活动，调整农业产业和农村经济结构，并结合地区优势和产业特点，确定农业发展主导产业，培育龙头企业。因此生态农业不仅保护生态环境，而且促进农业生产和农村经济持续高效发展，是农业和农村经济结构战略性调整的重要措施。

发展生态农业必须着力发展资源节约型、环境友好型农业，采取

切实有效的措施,尽快推进农业增长方式的根本转变。必须大力加快发展资源节约型、环境友好型农业生产体系。以节地、节水、节肥、节药、节种、节能、资源综合循环利用和农业生态环境建设保护为重点,按照“植物生产、动物转化、微生物还原”的农业循环经济理念,结合农业区域资源特征,调整优化农林牧渔业结构,大力发展高效生态农业、循环型农业、绿色农业和标准化农业。要把农业生态环境保护作为统筹城乡社会经济协调发展和全面建设农村小康社会的重要内容,要把农业发展建立在自然环境良性循环的基础上,来实现农业的可持续发展和农村生态环境保护的统一。

9.2 生态农业是现代农业的发展趋势

国家对发展生态农业高度重视

国家对发展生态农业、农村生态保护工作极其重视,2008年中央一号文件指出“加强农村环境保护,减少农业面源污染,并确定要鼓励发展循环农业、生态农业,有条件的地方可加快发展有机农业”;2010年中央一号文件再次明确指出“加强农业面源污染治理,发展循环农业和生态农业”。

国务院副总理李克强多次强调环境保护尤其是农村环境保护是国民经济发展的重大战略性问题,是保障和改善民生的重大现实性问题。在全国首次农村环境保护工作会议上,李克强副总理强调:农村环保是一项系统工程,需要分步实施。近期重点要突出抓好农村饮用水安全,加大饮用水水源保护和监管力度,有序推进乡镇污水处理设施建设,加快解决部分农村人口喝不上干净水的问题,建设清洁水源。要着力防治工农业生产污染,严格工矿企业环境准入和达标排放,强化节能减排,加强土壤污染和农业面源污染防治,建设清洁田园。要稳步推进农村环境综合整治,实行“以奖促治”,集中整治

危害严重的环境问题，实行“以奖代补”，鼓励开展生态示范创建，建设清洁家园。环境保护部周生贤部长也指出，根据农村环境状况，当前和今后一个时期要着力抓好全力保障农村饮用水安全、严格控制农村地区工业污染、加强畜禽养殖污染防治监管、积极防治农村土壤污染、加快推进农村生活污染治理、深化农村生态示范创建活动、强化农村环境监管体系建设、加大农村环保宣传教育力度等八项工作。

环保部部长周生贤在2009年全国环保工作会议上总结时指出“要立足统筹城乡发展，把加强农村环境保护作为新亮点”，并对农村环保工作提出新的要求：要把全面加强农村环境保护作为环保工作的新亮点，切实抓好农村种植、养殖“两清洁”，农药、化肥施用“两减量”，畜禽养殖、生活污染“两治理”。在全国农村环境保护暨生态建设示范工作现场会上他还指出要深化“以奖促治”，开创农村环境保护工作新局面。实施“以奖促治”，就是要加大农村环境保护投入，逐步完善农村环境基础设施，调动广大农民投身农村环境保护的积极性和主动性，切实推进农村生态文明建设。“以奖促治”是保障改善民生的重要手段。“以奖促治”，就是要将环保公共服务向农村覆盖，将环保基础设施向农村延伸，建设清洁水源、清洁家园和清洁田园，使广大农村居民享受改革开放和发展的成果。

生态农业是现代农业发展方向

生态农业是在保护、改善农业生态环境的前提下，遵循生态学、生态经济学规律，运用系统工程方法和现代科学技术，集约化经营的农业发展模式，是按照生态学原理和经济学原理，运用现代科学技术成果和现代管理手段，以及传统农业的有效经验建立起来的，能获得较高的经济效益、生态效益和社会效益的现代化农业。

生态农业是以生态学理论为主导，运用系统工程方法，以合理利用农业自然资源和保护良好的生态环境为前提，因地制宜地规划、组

织和进行农业生产的一种农业。是20世纪60年代末期作为“石油农业”的对立面而出现的概念,被认为是继石油农业之后世界农业发展的一个重要阶段。主要是通过提高太阳能的固定率和利用率、生物能源的转化率、废弃物的再循环利用率等,促进物质在农业生态系统内部的循环利用和多次重复利用,以尽可能少的投入,求得尽可能多的产出,并获得生产发展、能源再利用、生态环境保护、经济效益等相统一的综合性效果,使农业生产处于良性循环中。生态农业不同于一般农业,它不仅避免了石油农业的弊端,而且能发挥其优越性。通过适量施用化肥和低毒高效农药等,突破传统农业的局限性和粗放性,但又保持其精耕细作、施用有机肥、间作套种等优良传统。它既是有机农业与无机农业相结合的综合体,又是一个庞大的综合系统工程和高效的、复杂的人工生态系统,以及先进的循环农业生产体系。

生态农业是一个农业生态经济复合系统,将农业生态系统同农业经济系统综合统一起来,以取得最大的生态经济整体效益。它也是农、林、牧、副、渔各业综合起来的大农业,又是农业生产、加工、销售综合起来,适应市场经济发展的现代农业。

生态农业的生产以资源的永续利用和生态环境保护为重要前提,根据生物与环境相协调和适应、物种优化组合、能量物质高效率运转、输入输出平衡等原理,运用系统工程方法,依靠现代科学技术和社会经济信息的输入组织生产。通过食物链网络化、农业废弃物资源化,充分发挥资源潜力和物种多样性优势,建立良性物质循环体系,促进农业持续稳定地发展,实现经济、社会、生态效益的统一。因此,生态农业是一种知识密集型的现代农业体系,是农业发展的方向。

生态农业的可持续发展新模式

生态农业的发展,不但可以提高农业生产资源的使用效率,促进

出口农产品结构优化，而且可以渐进地改善农村生态环境。这种以可持续发展为指导思想，兼顾多种效益统一的农业生产模式日益受到欢迎，创建出多种生态农业可持续发展新模式。

洪雅模式——生态产业发展模式

四川省洪雅县的农业产业发展的格局是：有组织、有规模，一乡一示范，一村一产业，一组一风貌，一户一循环。地处四川盆地西南边缘的洪雅县走新型工业、绿色农业和生态旅游建设道路，通过六大生态产业链，推进生态县建设，摸索出“洪雅模式”。

1993年，洪雅县被批准为全国生态农业试点县；2001年，又率先在四川省发出《绿色食品宣言》；2003年，正式提出“建设洪雅生态经济强县”战略构思；2004年，制订了《洪雅县生态经济发展战略行动纲要》。一系列生态发展的举措，都走在了四川省前列。

洪雅县以生态牧业为龙头，初步形成了生态食品产业、生态磷化工产业、生态茶叶产业、生态林竹产业、生态旅游产业、生态畜牧业六大生态产业链，以六大生态产业链推进生态县建设，称之为“洪雅模式”，颇值得在同类山区生态县借鉴。

洪雅确立了生态农业，以林竹、茶叶、奶牛为三大支柱产业，推进生态畜牧业发展，以环境容量为发展总量的依据，根据环境承载能力，把8万头奶牛发展目标降为5万头。洪雅还引进现代牧业集团，投资2.5亿建设现代牧场，使洪雅成为西南最大的奶源基地。

龙游模式——生态循环养殖模式

浙江省龙游县走生态养殖的新路子，推进畜禽养殖逐步由传统粗放型向技术节约型、资源节约型和生态循环型方向发展，取得较好成效，主要经验如下：

实行四个统一，实施养殖业生态化。坚持“牲畜上山、水禽下田、园林养禽”的发展方向，科学划分了禁养区，推广“四统一”，即“统一规划、统一管理、统一服务、统一治理模式”。

科学规划了一批畜牧业园区。龙游县已建成生态畜牧园区

35个。其中龙游街道白半月生猪生态养殖园区列入了农业部标准化示范小区建设项目,康绿养鸡场、生态农牧科技有限公司养殖场被评为省级现代畜牧生态养殖示范场。

创新养殖模式,推进畜牧业生态循环。龙游县以沼气工程建设为纽带,引导农户用沼液灌溉作物,用沼渣施肥,形成了猪、沼、作物的良性循环。产生的沼渣沼液全部通过污水提灌系统直接灌溉到周围1000余亩茶园和苗木基地。“猪—沼—作物”综合利用,排泄物自我消纳的示范场,养殖污水经沼气发酵处理后通过管道自流灌溉果园、毛竹,产生的沼气作为农家乐燃料,经济效益十分明显。

抓好建设载体,综合治理养殖业污染。从2005年开始,龙游县抓住省政府实施“811”环境污染整治的契机,全面推进畜禽排泄物治理工程。龙游县已完成438家生猪存栏300头以上规模养殖场的排泄物综合治理,建成沼气池7.5万立方米,沼液池1.2万立方米,年产沼气655万立方米,年产沼肥225万吨,每年可为规模化养殖场节约煤电费用2100多万元。

会宁模式——生态农业合作社模式

甘肃省会宁县牛家河村村民近日自发组织成立了会宁县牛河生态农业农民专业合作社,这是会宁县第一家生态农业专业合作社,标志着牛家河村探索现代农业、生态农业、可持续发展农业之路又有了新的突破。会宁县牛家河村生态农业农民专业合作社成立以后的工作以推广葵花种植为主。合作社同时贯彻生态农业理念,指导农民施农家肥,合理利用葵花盘、葵花秸秆,实现产品绿色化、资源利用循环化。牛家河村现已有140余户自愿交纳股金加入合作社。增加了农民收入,提高了农民发展绿色农业、资源循环利用的意识。合作社的8名理事和监事,均由社员大会投票选举产生,合作社成立和发展的过程还增强了社员的民主管理意识,积累了农民管理的经验。

安吉模式——工农生态产业链模式(现代化农业发展模式)

安吉是全国第一批试点的生态县,又是打造长三角“新农村建设

示范区”，将生态文明的理念落实到新农村建设过程之中，继续保持生态建设走在全省乃至全国前列。安吉县辖10镇7乡1区，人口45万，是个典型的山区县。从20世纪70年代他们就经营毛竹，经几十年的坚持不懈，走出了一条以科技为动力、市场为导向、充满活力的创业路子。全县竹林面积108万亩，其中毛竹86万亩，小杂竹22万亩，占林地面积的51%；竹业总产值108亿元，年创税超2亿元；全县各类竹加工企业1600多家，90%以上是民营企业；产品有十大系列1000余种，出口创汇达10亿元；旅游商品生产和经营企业100多家，“农家乐”800余家，从业农民一万余人；各类休闲农庄、度假山庄遍布竹产区，年接待游客360万人次，收入达8.4亿元。2009年安吉县农民人均总收入15258元，全年人均纯收入达到11326元，比2008年增收983元。近6年来38万安吉农民人均收入增幅均保持在14%以上。2009年人均家庭经营纯收入5392元，占当年农民人均纯收入的47.6%，比上年同期人均增收519元，增长10.7%成为农民收入增长的主要部分。

竹资源是安吉赖以发展的基础资源，也是安吉最大的特色产业。安吉通过对竹资源进行五次深加工开发，实现生态农业的生态工业链的延伸：第一代竹产品为竹工艺品（笔筒、竹扇等）；第二代竹产品为竹窗帘、竹地板等；第三代竹产品为竹饮料、竹啤酒等；第四代竹产品为竹炭沙发垫、竹炭汽车坐垫、有防湿防潮去污除臭保健功能的竹炭鞋垫；第五代竹子深度开发竹纤维（竹被单、竹地毯、竹背心等）。以上竹子深加工开发产品吸引了外商几十家订购，出口在90%以上，产品供不应求。在全球爆发经济危机下，安吉竹业及时调整营销策略，大力开拓国内市场，产值仍有30%以上的大幅增长。竹叶深度开发遵循清洁生产，循环经济理念，根据减量化、资源化、无害化的三R原则，把竹子的碎块、剩渣全部利用、再生，真正做到竹子吃干榨尽的零排放目标。安吉工农生态产业模式也带动了其他经济的发展。例如当地开拓了生态旅游的项目，人们在生态旅游中不仅能参

观,也受到了生态农业先进理念的教育,同时,还能提高对生态工业理念的认识。

安吉从生态农业延伸生态工业链,把丰富的竹资源和良好的生态优势转化为发展优势,实现了三次跨越,形成安吉工农生态产业链模式的现代农业发展模式。

第一次跨越(20世纪70年代末至80年代中期):开展了以毛竹低产林改造和笋竹两用林建设为主要目标的竹资源培育开发活动,竹产业融入千家万户,全县80%以上农户或育竹,或加工,或营销。

第二次跨越(20世纪80年代后期至90年代中期):主要是实施科技兴竹,力促竹加工和经济发展效益。建立竹丰产示范基地和科技样板村,以基地带农户,涌现了一大批示范村和示范户。

第三次跨越(1995年至今):主要是发展二、三产业,力促产业层次和效益提高。笋、竹加工成为安吉的支柱产业,由此带动一个个产业,形成一二三产联动的致富链。

近年来,安吉充分依托区位优势和生态特色,大力推进新农村建设,农村经济发展、生态建设和社会管理取得巨大成就。“中国美丽乡村”高度凝聚了农村物质文明、精神文明、文化活力和环境魅力因素,全面彰显了品牌产业、品位村镇和品质农民特色,整体营造了一二三产业协调发展、农村城市共建共享、现代文明与自然生态高度融合优势,成为新农村示范区的提升工程和精品载体。安吉县是国家环保部开展全国生态文明建设的试点地区之一,将生态文明的理念引入“中国美丽乡村”建设,以“中国美丽乡村建设”为载体推进生态文明建设,这在全国尚属首创,具有很强的借鉴、指导、示范意义。

藤头模式——中国农业生态文明村的先驱者

在20世纪80年代初至90年代,浙江藤头村作为全国生态农业试点之一,在建设具有中国特色的现代化农业过程中,调整农业生态系统结构和功能,进行科学合理布局,已经取得显著的成效。因而在90年代,浙江藤头村(包括江苏泰县、河横村、安徽小张庄村、北京的

留民营村等)被联合国授予“全球生态500佳”称号。15年前,作为世界上最早成立的乡村级环境保护机构,藤头环境资源保护委员会实施了对引进项目一票否决制,至今已否决了近50个可能产生污染的项目。两年前,联合国第七届全球论坛上,中国藤头村被授予联合国首批“世界十佳和谐乡村”之一。藤头村党委书记傅企平被授予“2007世界和谐突出贡献人物奖”,联合国有关机构评选十佳和谐乡村的标准包括GDP、就业率、犯罪率、绿化率、空气质量、人均寿命和幸福指标等八大指标,及26项参数,专家们看重的不仅是单项指标高低,而且还包括评定八个指标的综合水平,强调注重各指标的共同发展、和谐发展。评审组专家认为,藤头村最具有魅力之处,概括起来贯彻了生态文明的六大和谐:

人人安居乐业心理和谐;村落布局合理人居和谐;

青山绿水相济环境和谐;企业发展创新市场和谐;

村民和乐相处人文和谐;刑事犯罪为零社会和谐。

藤头村从上世纪至今,与时俱进,紧密结合社会主义新农村建设,解决乡村环境污染整治,构建低碳社会的关键是他们以先进生态工业引领农村及农业生产,不断推进低碳农业发展:

- 藤头低碳发展之一——推进新能源建设

风光能环保节能灯就是利用风能、太阳能发电和太阳能蓄电池提供能源,无论晴天、阴天还是台风等灾害天气,一年四季都能保证路灯供电。

- 藤头低碳发展之二——清洁能源工程的建设

为了进一步改善人居环境,近年来村落投入亿元实施“蓝天碧水”、“绿地”、“清洁能源”三大工程,撤出了农家柴灶,统一改用液化沼气,实现了农居无烟村。目前的村落,遍地植树种草,遍养白鸽、野鸭、飞禽等,目前全村绿化率达到67%,营造了“花香田丽四季春,碧水涟涟桃花村”的江南田园美景。

- 藤头低碳发展之三——建设污水处理零排放目标工程

藤头村有800多位村民,还有不少在藤头村企业中工作的外来人员,每天产生大量生活污水,如不加处置将造成对土地的污染。藤头村构建了无动力的生态绿地及湿地处理系统,不仅使污水处理零排放,还可转化用做绿化用水,达到治污、节水、节能的目的,实现降温、降噪、净化空气、美化环境等多种功效。

- 藤头低碳发展之四——推动低碳农业的发展

藤头村本身就是国家级农业综合开发示范区,也是浙江省首批12个现代化农业示范区之一,总面积为3000亩,大部分为高效生态农业,例如,蔬菜瓜果种子种苗基地、植物组织培养中心、花卉苗木基地等,都是我国农业现代化的样板。科技、生态、效益——藤头农业始终走低碳之路,不断推广标准化生产,实施品牌战略,大力发展现代生态农业产品基地、种子种苗基地,产品供不应求,得到国内外客商的高度肯定,成为全浙江省农业科技示范样板。

- 藤头低碳发展之五——开展生态旅游

生态旅游是藤头村低碳生态乡村系统的又一亮点所在。早在20世纪90年代,藤头村以生态旅游推进人们保护自然、宣传人们生态意识教育,藤头村人把高雅园艺、农业观光和生态旅游融为一体。让中外游客瞻仰将军陵、观赏柑橘村、参观婚育新风园、漫步绿色长廊和体验乡村文化等30多处田园景观,在生态旅游中,返璞归真,亲近自然,深刻体验生态旅游内涵。

藤头村是首批国家级AAAA景区,目前创建国家级AAAAA景区也已全面完成。2009年藤头村生态旅游景区共接待游客119万人次,旅游综合经济收入达1.1873亿元,比上年同期增加10%,取得了社会效益、环境效益和经济效益的三丰收。因而中国联合国协会副会长陈士球指出,奉化藤头村能解决好乡村环境污染问题,关键是他们成功构建了低碳乡村生态系统,村落的低碳已形成系统,这是全球的典范。

在2010年上海世博会上,全球唯一的一个农村馆即中国藤头

馆,展示了它的神奇、显要和独特的地位。它的主题是:让农村生活更美好,让城市更加向往农村。国际专家及参观者认为,从藤头村看到了中国农村未来的希望,我们认为,从藤头村看到了中国和谐社会的雏形。

9.3 新时期新形势下发展现代农业的战略策略

发展现代农业的战略策略的核心是丰富生态农业内涵、创新生态农业发展模式、开发生态农业实用技术、建立健全农村生态环境管理体系,促进农业发展由环境污染型向环境友好型转变,由传统的低效高损耗的效益型向高效低损耗的生态型转变,倡导农业生态文明,促进生态农业持续发展。

运用先进理念丰富现代农业内涵

生态文明

党的十七大报告提出建设生态文明。生态文明是指人类遵循人、自然、社会和谐发展这一客观规律而取得的物质与精神成果的总和;是指人与自然、人与人、人与社会和谐共生、良性循环、全面发展、持续繁荣为基本宗旨的文化伦理形态。生态文明是人类对传统文明形态特别是工业文明进行深刻反思的结果,是人类文明形态和文明发展理念、道路和模式的重大进步。生态文明突出生态的重要,强调尊重和保护环境,强调人类在改造自然的同时必须尊重和爱护自然,而不能随心所欲,盲目蛮干,为所欲为。生态农业其实就是生态文明理念贯穿于农业生产实践的具体体现。

循环经济

循环经济即物质闭环流动型经济,是指在人、自然资源和科学技术这一大系统内,在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃物再利

用的全过程中,把传统的依赖资源消耗的线形增长的经济,转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。资源都必须高效利用和循环利用,按照“减量化、再利用、资源化”的原则,其特征是物质闭路循环和能量梯次使用是通过资源高效和循环利用,实现污染的低排放甚至零排放。循环经济把清洁生产和废弃物的综合利用融为了一体,本质上是一种生态经济,实际上是运用生态学规律来引导人类社会的经济活动。

党的十六届三中全会提出了“以人为本,全面、协调、可持续发展”的科学发展观,这是我国全面实现小康社会发展目标的重要战略思想。胡锦涛总书记指出:“要加快转变经济增长方式,将循环经济的发展理念贯穿到区域经济发展、城乡建设和产品生产中,使资源得到最有效的利用。”党的十六届四中、五中全会决议,明确提出要大力发展循环经济,把发展循环经济作为调整经济结构和布局,实现经济增长方式转变的重大举措。“十一五”规划也把大力发展循环经济,建设资源节约型和环境友好型社会列为基本战略。深入研究发展循环经济的有关理论与实践,探讨生态农业循环经济发展,对正确理解生态农业内涵,指导生态农业生产实践是十分必要的。

低碳经济

低碳经济的实质是一种以“低排放、低能耗、低污染”为主要特征的绿色经济发展理念和增长模式,核心是能源技术创新和制度创新。它与我国目前正在开展的节约能源资源、提高效率、调整能源结构、转变经济增长方式、走新型工业化道路、降低污染排放等做法是一致的。低碳理念丰富了生态农业的内容,指明了未来生态农业的发展方向,即生态农业应向转变农业经济增长方式、降低生产污染排放、提高资源综合利用的方向发展。中国奉化藤头村之例已给中国现代化农业发展指明了前进的方向。

依靠科技创新引领现代农业发展

加快农业发展方式由数量型、粗放型向质量型、效益型转变，提高农产品质量安全水平和竞争力，也是实现农业增效、农民增收的重要举措。发展现代农业是转变经济发展方式的重大任务，而发展现代农业科技是我国农业科技工作的重中之重。传统农业向现代农业转变阶段，必须全面推进产业结构调整、转变经济发展方式，以可持续发展战略为指导，发展现代农业。其中科技创新是现代农业发展的根本动力。充分发挥农业科技在现代农业建设中的“四大作用”是当务之急：发挥科技创新的引领作用；发挥科技创新的带动作用；发挥科技创新的支撑作用；发挥科技创新的保障作用。

科技创新也是产业发展的动力，未来农业的发展需要科学技术提供支撑。为适应农村生态环境保护需求，应从以下几方面加强生态农业建设的技术保障：

研究生态农业循环经济生产模式

探索养殖业和种植业的循环经济发展模式需要研究农业废弃物集中收集利用技术，提高农业废弃物的综合利用技术。将养殖业废弃物利用与种植业有机肥的制备有机地联系起来，各地根据不同的种养结构可进行合理搭配，建立包括养殖业和种植业的生态型产业链，并探索不同的利用模式。通过制度和政策措施推动开发和运用提高能效技术、节约能源技术、可再生能源技术和温室气体减排技术，促进整个社会经济向高能效、低能耗和低碳排放的模式转型。

推进生态农业建设开拓实用技术

加大现有农业污染治理科技成果的转化力度。从源头控污，确保农业面源污染治理技术的实用性，注重农业科技成果的推广应用。通过实地调查了解，列出对农村治污效率高、成本低的治污技术项目，建立专项研究，促进治理技术成果的广泛推广。加大先进成果的

推广力度,进一步研究将先进治污技术编写或相关的普及性教材及培训资料。

健全生态农业技术推广体系

建立健全完备的养殖业实用治污技术的推广体系。加大对乡镇一级农技站治污技术及设备方面的投入,加强基础设施建设,确保农技站有服务场所,有办公学习环境,以便乡镇农技人员能及时地学习到国内外先进的农业生产技术。每年对农技人员系统地进行养殖业环境污染技术专业知识培训,提高农技推广人员的环保技术推广水平,以适应不断发展的环境保护要求,并把培训学习的成绩作为人员聘用、职称晋升、职务聘任的重要依据之一,激励专业技术人员自觉提高业务素质,学习业务知识。

建立生态农业科技园区示范
推进现代农业建设

鼓励地方相关部门根据地方的农业发展现状进行生态农业循环经济发展模式的探索。各相关部委根据不同部门特点安排相应的生态农业循环经济模式探索专项研究及推广应用示范项目。形成由政府倡导和支持,科研部门创新研究,农户主动参与,企业积极探索的生态农业科技园区,以生态工业理念引领现代生态农业发展。

海门生态农业科技园区

海门建成的生态葡萄园区,是在种植优质葡萄的同时,采取立体化生态种养方式经营。葡萄架下饲养生态土鸡,土鸡饲料全部采用了海鲜、虾为饲料。经上海权威机构检测,土鸡生产出的鸡蛋微量元素含量比普通鸡蛋要高,口感更好,为此,海门申请注册了“黄海牌”葡萄和“黄海牌”海鲜蛋。园区本身已作为生态旅游景点向游客开放,让游客到葡萄园中享受自采乐趣。目前葡萄和海鲜蛋已成熟上

市，仅葡萄亩均销售收入就达2.5万元以上。

渝北国家农业科技园区

重庆渝北国家农业科技园区确立了以科技型农业、生态型农业、加工型农业和市场型农业为中心的产业定位，延长了农业产业链，引领传统农业向现代农业转型，为当地现代农业发展起到了示范推动作用。园区自成立以来，先后建成重庆市马铃薯工程技术研究中心、重庆市农产品检验检测中心、重庆市良种牛繁育中心、重庆市鳄鱼养殖中心、重庆市柑橘组培中心、重庆市渝北区农业科学研究所等6个研发机构，并在园区的核心区建立了波尔山羊农业专家大院等6个科技服务机构，成为重庆市乃至西南地区农业科技研发机构的聚集区。渝北农业科技园区凸显了“重庆模式”的价值和意义。农业科技园区由核心区—示范区—辐射区的梯度推进和“三区”联动的发展模式组成，从而提高了农业生产的产业化、专业化、集约化、高效化、市场化水平。重庆渝北国家农业科技园区不仅是渝北的农业科技园区，也是全市乃至全国的农业科技园区。

慈溪国家农业科技园区

宁波慈溪国家农业科技园区以“一园三区”探索建设模式，在核心区内规划建设集生产加工、科研培训、信息服务、旅游观光为一体的现代化蔬菜园区；以烤鳗等水产品加工升级与鲜活水产品出口创汇为发展重点的水产园区；以宁波特色水果生产及保鲜加工为主的特色水果园区。园区提出“展示、科技、综合服务”三大目标功能建设，立足现代设施农业展示功能，实施了一大批基础设施建设工程。

与国际标准接轨发展绿色农业
走向有机农业

山东安丘市在城区设立了市区域化建设农药兽药专营总店和农资配送中心，形成了市、镇、村三级专营专供网络，对专供网络筛选出

的36个农药批发商的合格、低残留农药实行编码管理,统一印刷身份证标签贴到农药瓶上以便于识别;还倡导推广使用低毒安全农药和配方营养施肥,实现了农药和化肥的“减量化”使用,有效地解决了农村面源污染难题。2007年山东省政府还专门在安丘召开会议推广区域化管理的“安丘模式”经验。安丘市规划建设的45万亩区域化种植基地和10万亩果品基地中,现已认证有机食品基地2.19万亩,绿色食品基地4.1万亩,无公害农产品基地8.4万亩。2009年前8个月,安丘市农产品出口创汇8200万美元,同比增长7%;已有70多万吨生态安全农产品销往北京、上海等地的大超市,安丘市荣获“全国蔬菜出口示范区”。此外,积极构建微型循环经济,建立“家庭绿岛”式小循环,打造“绿色氧吧”,这是安丘市发展生态农业的另一个显著特点。为了打造“绿色氧吧”,安丘市大做“绿”文章,先后建成生态林场14个、生态村94个,全市森林覆盖率达到了33.6%。安丘市以生态建设作为城市发展的立足点,统筹经济发展、资源利用和环境保护,努力把生态优势转化为经济优势,把生态价值转化为经济效益,使安丘市呈现出经济增长、社会进步、环境改善的和谐发展局面,让安丘市的百姓实实在在地尝到了甜头。

山东章丘市强力推进标准化生产,制订了40多项农畜产品生产标准和技术规程,该市无公害农产品种植达到7.6万公顷,目前已有102个农产品品牌、30个农产品被认定为无公害产品,17个农产品被贴上绿色标签,55个成为有机食品,认证数量居山东省各县(市、区)之首,基本涵盖了主要优势农产品,带动农民年增收4800多万元。实施品牌战略,以结构调整先行,章丘市还形成了南部山区以小杂粮和干果为主,中部以章丘大葱和创汇蔬菜为主,北部以水稻和西瓜为主的有机食品、绿色食品、无公害农产品区域化种植、规模化发展的农业标准化生产新格局。章丘的农产品由此实现了标准化生产,更从本地特产向知名品牌转变。章丘大力发展农民专业合作组织,积极鼓励引导农村能人、龙头企业、农产

品批发市场、村集体等兴办、领办合作经济组织，扩大市场。全市各类农民专业合作组织332个，其中农民专业合作社252个，经营服务范围涉及种植、养殖、加工、流通等多个行业，参加农民专业合作组织的成员有2.5万余人，吸引和带动农户8万余户，年销售农产品180万吨，年经营总收入15亿元。

建立创新机制保障生态农业可持续发展

建立以行政手段、经济手段和法律手段为主的生态农业建设与发展的政策保障机制，积极引导农业生产和农村工业企业开展清洁循环的生态农业生产。

深入推进"以奖促治"工作

实施"以奖促治"，解决农村群众反映强烈的突出环境问题，改善农村环境质量，维护社会和谐稳定。"以奖促治"是环境保护的重大政策创新。"以奖促治"政策实施以来，中央财政投入农村环境保护专项资金达15亿元，支持2160多个村镇开展环境综合整治和生态建设示范，带动地方投资达25亿元，直接受益农民达1300多万人。

建立健全生态农业生产的管理体系

针对目前农村生态环境保护等方面的弱势地位，应该不断完善政策法律保障体系的建设，应建立健全有关政策、法规、标准体系；尽快制定、颁布《农村环境保护法》、《土壤污染防治法》、《畜禽养殖污染防治条例》、《农村清洁生产促进法》、《农业资源综合利用法》、《生态农业保障法》、《农村污水治理条例》等法律，填补法律空白，从法律上为农村环境保护提供依据，为从源头上控制农村环境问题创造条件。

依法加强对农村环境的监督管理。制定或修订农村生态保护相关的标准、技术规范和操作规程，如《有机食品技术规范》，《畜禽养殖

污染物排放标准》,《农药、化肥、农膜污染防治标准》等。针对不同地区,制订切合当地农村实际的农村环境质量、评价的标准和方法,制订和实施适合本地区的地方性农村环境保护法规、规章和标准,如《污水分散处理系统管理指南》。

建立农村生态保护新型资金投入机制

当前我国农村发展面临的最大瓶颈在于资金短缺,由此导致农村公共基础设施短缺,从而制约着我国农业的可持续发展。从国外的经验来看,农业发达国家都十分重视对农村和农业的财政扶持力度,通过补贴、公共产品供给等多种方式,增加对农业和农村的支持。由于我国农村长期的积弱积贫,仅依靠农村的自我积累来加快农村经济社会的发展,缩小城乡发展差距是不现实的。必须借助外部的力量,通过加大对农村的资金保障力度来促进发展。

应建立多元化的投融资机制进行生态农业建设,对一些重大农业生态保护工程,可以采取财政补贴、信贷支持、税费减免等方式吸引民间资本、外资参与共同保护和开发,逐步形成政府主导、地方配套、多元投资、企业经营的市场运行机制,充分发挥农村环保中市场机制的作用。

随着我国对生态农业实践的日益深入,我国必将形成并完善有中国特色的生态农业理论,从而推动我国的生态农业实践向更高水平迈进,各种模式和各种示范在各地的出现对现代农业的影响日益深远,生态农业已经成为我国21世纪中农业发展的必由之路。

参考文献

[1] 奥杜姆 E P 著. 生态学基础. 孙儒泳等译. 北京：人民教育出版社，1981

[2] 比林斯 W D 著. 植物、人和生态系统. 北京：科学出版社，1982

[3] 马世骏，李松华主编. 中国的农业生态工程. 北京：科学出版社，1987

[4] 马世骏. 运用生态学原则建设新农村. 农村生态环境，1985(1)：2

[5] 云正明. 农业生态系统结构研究. 农村生态环境，1986(1)：44，1986(2)：43

[6] 沃辛顿 M K. 什么是生态农业和如何进行生态农业建设. Agriculture Environment，1981(6)：349

[7] 侯学煜著. 生态平衡与农业现代化. 北京：农业出版社，1980

[8] 曲格平编著. 环境科学基础知识. 北京：中国环境科学出版社，1984

[9] 卞有生著. 留民营生态农业系统. 北京：中国环境科学出版社，1988

[10] 傅立勋等编著. 改善生态环境. 北京：学术报刊出版社，1988

[11] 霍尔 D O，拉奥 K K 著. 光合作用. 张永祥译. 北京：科学出版社，1982

[12] 金鉴明等编著. 自然保护概论. 北京：中国环境科学出版社，1991

[13] 福里赛尔 M J 主编. 农业生态系统中矿质养分的循环. 夏荣基等译. 北京：农业出版社，1981

[14] 卞有生等. 生态农业系统的结构与能量流和生态效率的计算. 环境科学，1986(4)：94

[15] 卞有生，张凤延著. 中国农业生态工程的理论与实践. 北京：中国环境科学出版社，1999

[16] 卞有生主编. 生态农业中废弃物的处理与再生利用. 北京：化学工业出版社，2000

[17] 卞有生，金冬霞，邵迎晖编著. 国内外生态农业对比——理论与实践. 北京：中国环境科学出版社，2000

[18] 卞有生. 中国农业生态问题的现状、问题及对策. 中国工程科学，2000(12)：16

[19] 金鉴明. 有机食品大有希望、前途无量. 有机食品时代，2001(3)：4

[20] 尤川，梁超然. 恭城模式. 桂林：广西人民出版社，1996

《院士科普书系》总书目

《院士科普书系》第 1 辑目录

《院士科普书系》第 2 辑目录

《院士科普书系》第3辑目录

26 脑的奥秘　陈宜张　杨露春　王文清　唐孝威　编著

27 贵金属——周期表中一族璀璨的元素　陈　景　张永俐　李关芳　编著

28 纺织新境界 ——纺织新原料与纺织品应用领域新发展　郁铭芳　孙晋良　邢声远　季国标　编著

29 农药化学　陈茹玉　杨华铮　徐本立　编著

30 工程抗震的新发展　周锡元　吴育才　编著

31 材料世界的天之骄子——航空材料　曹春晓　郝应其　编著

32 离子的喷泉——电子回旋共振离子源　魏宝文　赵红卫　著

33 大地中的宝藏——实说中国的矿产资源　程裕淇　朱裕生　宋国耀　编著

34 溶剂萃取　汪家鼎　骆广生　编著

35 光子学技术——信息化时代的支撑技术　王启明　魏光辉　高以智　编著

36 月球——人类走向深空的前哨站　欧阳自远　邹永廖　李春来　编著

《院士科普书系》第 4 辑目录

1 中老年人的自我保健　陈可冀　束敬柏　著

2 需要精心呵护的气候　叶笃正　张丕远　周家斌　著

3 微分方程与平面三角　林　群　著

4 说话的科学技术　马大猷　著

5 现代科技与战争　张效祥　张夷人　编著

6 话说基因　程书钧　潘锋　徐宁志　编著

7 颤抖的地球——地震科学　谢礼立　张景发　编著

8 过程工业与清洁生产——走环境友好的道路　陈家镛　杨守志　编著

9 药物与化学　梁晓天　主编

10 警惕艾滋病　曾　毅　编著

11 病毒与脑　洪　涛　王得新　编著

12 神通广大的射线装置——带电粒子加速器　方守贤　梁岫如　编著

13 聚变能及其未来　王乃彦　编著

14 糖生物学与糖生物工程　张树政　主编

院士科普书系——农家书屋精选本

1. 节水农业(修订版)　　山　仑　黄占斌　张岁岐　编著
2. 九曲黄河万里沙——黄河与黄土高原(修订版)　　张宗祜　著
3. 还我大自然——地球敲响了警钟(修订版)　　李星学　王仁农　编著
4. 农药化学(修订版)　　陈茹玉　杨华铮　徐本立　编著
5. 生态农业——21世纪的阳光产业(修订版)　　金鉴明　卞有生　田兴敏　编著
6. 氮循环——攸关农业生产、环境保护与人类健康(修订版)　　朱兆良　邢光熹　编著
7. 化学污染——破坏环境的元凶(修订版)　　陈荣悌　赵广华　著
8. 胆石病——一个外科学家的实录(修订版)　　黄志强　著
9. 妇女保健(修订版)　　宋鸿钊　著
10. 警惕艾滋病(修订版)　　曾　毅　编著

修订版后记

本书自 2002 年 1 月至 2010 年 10 月曾 12 次印刷，科普小册子能不断加印，对作者是一种鼓励，亦是一种鞭策。此次又承出版单位提出修订版，我们很乐意地承担了下来。在修订中保持了原来的格局，但从 2000 年至今的 10 年间，许多情况发生了变化，如世界人口数及我国人口数等都需要用最新材料来修正。此外，世界各国对于减污排放及处理垃圾的先进方法等方面的新材料亦应编入，为此我们尽了很大的努力。不足之处恳请读者谅解及指正。本书总编宋成斌给予了不少指导及帮助，提出增加插图等，我们都照办了。对编辑们的辛勤劳动、指导帮助，再次深表敬意及谢忱。

编著者

2010 年 10 月

再版说明

《院士科普书系》自第1辑出版至今已经10年了。这10年中，由于书系宣传和获奖所产生的影响，也由于社会进步的普遍需要，其中的许多分册都曾多次修订和重印。

最近，众所周知，国家正大力推进“农家书屋”的国家战略基础性工程，我们根据此项战略决策，结合农村特点和过去的重印情况，挑选了部分图书，请作者对内容做了部分修订和补充，并从惠民的角度进行了改版，目的是使我们的图书更适合农村图书市场的需要。

本次再版由于时间紧迫，有些作者因联系困难，或因身体原因，修订和补充的内容尚不能完全做到与时俱进，有些只能由责任编辑协助完成，其中可能出现的问题均由编辑承担相应的责任。

宋成斌
总责任编辑
2009年12月


北瓜长廊


大葱基地


环境优美


经济腾飞

江省滕头村——我国生态农业探索案例

浙江省滕头村继获得联合国颁发的“全球生态 500 佳”、“世界十佳和谐乡村”等殊荣，并作为全球惟一乡村入选上
“城市最佳实践区”，还获得全国首批文明村、全国先进基层党组织、中国十大名村、中国生态第一村、国家首批 AA
游区、国家首批农业旅游示范点等 70 多项国家级荣誉，并不断探索着生态农业发展的新路子。



城瑶族自治县——恭城模式

广西恭城瑶族自治县于1983年率先开展了生态农业建设的试点工作，经过多年的摸索和实践，创建了“以沼气以种植为龙头，以养殖为重点”资源的循环利用的生态农业发展模式，即“养殖—沼气—种植”三位一体的“恭城模农业废物资源化利用和立体种养植的结合，以林果产业为核心，实现了农业产业的生态化转型和发展并取得了良效益。1995年列入国家生态示范区试点，2001年获得国家级生态示范区命名，全县累计沼气池5.6万座，农村沼85.3%，居全国第一，同时全县积极利用资源优势，大力发展生态农业旅游，依托“富裕生态家园”示范点，举办桃柿节，把人文景观和民族风情作为主要内容，初步形成了特色旅游产业。



岭山生态富裕家园

大岭山是广西恭城瑶族自治县西岭乡费村村委会所辖的一个自然屯，曾经是一个交通不便，生产生活环境十分恶
叮当响。面对恶劣的自然环境，20 世纪 90 年代初期，大岭山党支部确立了撬山栽桃的经济发展思路。十多年来，
领村民发扬艰苦奋斗的精神，撬山不止，共开垦荒山栽种红花桃 1200 多亩，创造了石板上栽花的奇迹，实现了该
跨越式发展。2004 年全屯人均水果面积达 9.6 亩，水果总产量 80 多万公斤，年人均纯收 5700 元。富裕起来的大
致富思源，富而思进"，在全县率先建起了文明富裕生态家园。近年来，大力发展生态旅游观光业，成功地举办了
花节"，"人间四月芳菲尽，山寺桃花始盛开"。大岭山的桃花如胭如脂，如云如霞，吸引了数十万游客的光临，也给
入了经济发展的强大动力。



浦县——发展清洁生产

广西荔浦县大力发展发酵床养猪。由于粪尿被垫料和活性有益菌吸收和分解了，从而消除了动物粪尿中的臭气
养殖场几乎无臭味。而且不需要冲洗栏舍，没有任何的粪尿排出栏舍之外，因此不会对栏舍和环境造成的任何污染
了零排放、零污染的目的。传统养猪最大的用水量来自冲洗猪栏，据统计，一天冲洗猪栏的用水量，可以满足猪 8
饮水。而采用发酵床养猪只需要满足猪的饮用和少量补充垫料表面补水即可，大大节约了用水量。由于节约部
用水，节约人工，节约用药，提高成活率等，一头猪大约可以提高经济效益 60 元以上，蚊蝇也大幅度减少。